



Universitetet  
i Stavanger

**DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET**

## **MASTEROPPGAVE**

Studieprogram/spesialisering:  Risikostyring	Vårsemesteret, 2014  Åpen
Forfatter: Michelle Solbakk	..... (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Roger Flage Veileder(e): Roger Flage	
Tittel på masteroppgaven: Selvorganisering i komplekse systemer og sammenhengen til sorte svaner  Engelsk tittel:	
Studiepoeng: 30	
Emneord:  Risikostyring, sorte svaner, kompleksitet, kunnskap, det selvorganiserende kritiske punktet.	Sidetall: 84  + vedlegg/annet: 0  Stavanger, 13. Juni 2014 dato/år

## Sammendrag

Kompleksiteten i samfunnet vårt er stadig økende og det eksisterer flere komplekse systemer som er avhengige av ulike faktorer både innad i systemet og til andre systemer (Lewis, 2011). Eksempel på slike systemer er internettet, finansmarkedet og strømmettet for å nevne noen. Et komplekst system har komplekse egenskaper som kompliserer systemet og fører til manglende kunnskap om systemet. Den manglende kunnskapen om systemet gjør komplekse systemer vanskeligere å styre som igjen kan føre til en organisering innad i systemet. Denne organiseringen refereres til som selvorganisering. Selvorganisering kan skape en kritisk oppbygning av systemet også kjent som det selvorganiserende kritiske punktet. Dette punktet fremmer blant annet komplekse egenskaper som virker eskalerende på hendelser som inntreffer. Manglende kunnskap og eskalerende egenskaper kan skape hendelser som kommer som en overraskelse og med ekstreme konsekvenser. Slike hendelser omtales med metaforen "sorte svaner". Det eksisterer mange ulike definisjoner på sorte svaner og en godt beskrivende definisjon i sammenhenge med komplekse systemer er at en sort svane er en hendelse med ekstreme konsekvenser som ikke var med i risikovurderingen på grunn av manglende kunnskap (Aven 2013b). Sorte svaner inntreffer oftere i et samfunn med økt kompleksitet (Lewis, 2011) og de vitner om et behov for en mer omfattende risikostyring. Aven og Krohn (2014) har nylig publisert en artikkel som handler om et nytt perspektiv for å forstå, vurdere og styre risiko, hvor de konkluderer med at dette perspektivet vil belyse potensielle overraskelser og dermed minke risikoen for sorte svaner i en usikker situasjon. Kompleksitet skaper et annet risikoproblem en usikkerhet og det er dermed ikke sikkert at dette perspektivet også vil belyse potensielle overraskelser innenfor kompleksitet.

Dette har vekket en interesse for å undersøke hvilke sammenhenger det er mellom komplekse systemer og sorte svaner og det har lagt grunnlaget for problemstillingene:

*Hvilke egenskaper påvirker kompleksiteten og det selvorganiserende kritiske punktet i et system og hvordan er egenskapene knyttet til sorte svaner?*

*Fører selvorganisering i komplekse systemer til større risiko for sorte svaner og kan disse kontrolleres med en ny måte å forstå, vurdere og styre risiko?*

I arbeidet med denne oppgaven er det gjort en teoretisk analyse av eksisterende litteratur med risiko som tema, hvor det har vært et spesielt fokus på kompleksitet, selvorganisering og sorte svaner. Det er vurdert hvordan et komplekst system kan føre til manglende kunnskap

om systemet og hvordan hendelser kan eskalere og føre til store konsekvenser i komplekse systemer. Altså hvordan kompleksitet og sorte svaner henger sammen.

Denne oppgaven har kommet fram til komplekse egenskaper som komplekse systemer kan ha og disse er forsinkelse mellom årsak og virkning, positive eller negative tilbakemeldingssløyfer, interindividuell variasjon, mellomliggende variabel, subsystemer, interaksjoner, indirekte informasjonskanaler og nettverksdanning av elementer. Et system er komplekst om det har minst en av disse komplekse egenskapene. Egenskapene kan skape manglende kunnskap og de kan ha potesialet til å eskalere hendelser.

For å minke risikoen for sorte svaner så kan man endre oppbygningen av systemet slik at hendelser ikke like lett kan eskalere til ekstreme konsekvenser og man kan søke kunnskap for å hindre overraskelser.

Ut i fra dette har denne oppgaven utarbeidet et rammeverk som skal fremme kunnskapen om kompleksitet og sorte svaner. Rammeverket er basert på fem faktorer som kan endres og dermed bidra til å endre risikoen for sorte svaner. Faktorene vil kunne fremme kunnskap og minke eskalerende faktorer i systemet. De fem faktorene i rammeverket er hvordan man har tatt hensyn til organisering, kapasitet, avgrensninger, nettverksdanning og ytre sammenhenger i systemet.

Rammeverket er ikke testet og kan sees på som et teoretisk rammeverk som er ment til å brukes i tillegg til en standard risikovurdering. Rammeverket fremmer helhetlig tenkning rundt et komplekst system og vil kunne tilføre nye vurderinger til en risikovurdering.

## Forord

Denne oppgaven markerer slutten på studiene mine og det har vært en lærerik og spennende tid. Det er med vemod at jeg snart har fullført fem år med studier, men også glede for alt som venter etter studietiden. Jeg vil takke veilederen min Roger Flage for god støtte og hjelp med oppgaven. Han har gitt meg gode tilbakemeldinger og skapt glede og interesse for risikostyring.

10. desember 2013 kom også sønnen min William til verden og jeg vil takke han for all glede og avkobling fra masteroppgaven han har gitt meg. Det har vært et halvår med mange utfordringer både med en liten sønn og med oppgaven, men også et svært spennende halvår. Jeg vil også takke min samboer Kristian for tålmodighet, rene gulv og en utvilt liten sønn. Til slutt så må jeg også takke min mor Isabell og min svigermor Nilla for barnepass slik at oppgaven ble fullført. Nilla fortjener en ekstra takk for all hjelp hun har bidratt med.



Stavanger, Juni 2014

Michelle Solbakk

# Innhold

<b>1. INNLEDNING</b>	<b>1</b>
<b>1.1 BAKGRUNN</b>	<b>1</b>
<b>1.2 PROBLEMSTILLINGER</b>	<b>3</b>
<b>1.3 AVGRENSNINGER</b>	<b>4</b>
<b>1.4 OPPGAVENS OPPBYGNING</b>	<b>4</b>
<b>2. TEORI</b>	<b>6</b>
<b>2.1 RISIKO</b>	<b>6</b>
2.1.2 RISIKOPROBLEMER	6
2.1.3 NYTT PERSPEKTIV PÅ HVORDAN Å FORSTÅ, VURDERE OG STYRE RISIKO	8
<b>2.2 DEFINISJONER AV SORTE SVANER</b>	<b>15</b>
<b>2.3 SYSTEMER</b>	<b>16</b>
2.3.1 DEFINISJON	16
2.3.2 NATURLIGE OG DESIGNEDE SYSTEMER	16
2.3.3 KRITISK SYSTEM	17
2.3.4 "NORMAL ACCIDENT THEORY"	17
<b>2.4 KOMPLEKSITET</b>	<b>20</b>
2.4.1 DEFINISJON AV KOMPLEKSITET	20
2.4.2 KOMPLEKSE EGENSKAPER	21
<b>2.5 SELVORGANISERING</b>	<b>22</b>
2.5.1 FENOMENET SELVORGANISERING	22
2.5.2 DET SELVORGANISERENDE KRITISKE PUNKET	23
2.5.3 BAKS SANDHAUG	25
2.5.4 POTENSFUNKSJONER	27
2.5.5 ZIPFS LOV	28
2.5.6 PRINSIPPET OM MINST MULIG ANSTRENGELSE	29
2.5.7 REGULERING OG SELVORGANISERING	30
<b>2.6 DOMINOSVIKT</b>	<b>32</b>
<b>2.7 INFORMASJONSFOREDLING</b>	<b>34</b>
<b>3. UTVIKLINGEN AV RAMMEVERKET</b>	<b>37</b>
<b>3.1 KOMPLEKSITET OG USIKKERHET</b>	<b>37</b>
<b>3.2 KOMPLEKSITET OG SORTE SVANER</b>	<b>39</b>
3.2.1 KOMPLEKSE EGENSKAPER	41

<b>3.3 SELVORGANISERING OG SORTE SVANER</b>	<b>48</b>
3.3.1 DET KOMPLEKSE STRØMNETTET	49
3.3.2 SELVORGANISERING KAN GJØRE SYSTEMER KRITISKE	51
3.3.3 DET SELVORGANISERENDE KRITISKE PUNKTET OG SORTE SVANER	52
3.3.4 KOMPLEKS ADFERD	53
3.3.5 INFORMASJON FRA KOMPLEKSE SYSTEMER UTSATT FOR SELVORGANISERING	56
<b>3.4 HVORDAN RAMMEVERKET ER UTARBEIDET</b>	<b>57</b>
3.4.1 KUNNSKAP	58
3.4.2 ESKALERENDE FAKTORER	59
3.4.3 OPPBYGNINGEN AV RAMMEVERKET	60
<b><u>4. RAMMEVERKET</u></b>	<b><u>71</u></b>
4.1 PRESENTASJON AV RAMMEVERKET	71
4.2 RAMMEVERKET FOR KOMPLEKST SYSTEMER	71
4.3 EKSEMPEL PÅ BRUK AV RAMMEVERKET	75
<b><u>5. DRØFTING AV RAMMEVERKET</u></b>	<b><u>78</u></b>
5.1 RAMMEVERKET GENERELT	78
5.2 OPPDATERING AV KOMPLEKSE SYSTEMER UTSATT FOR SELVORGANISERING	78
5.3 BRUKEN AV RAMMEVERKET	79
<b><u>6. KONKLUSJON</u></b>	<b><u>80</u></b>
<b><u>7. REFERANSER</u></b>	<b><u>81</u></b>

# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Dagens samfunn henger sammen i en økende grad og er forbundet med et bredt spekter av infrastruktur, tjenester og teknologiske og organisatoriske systemer som for eksempel energi, informasjon, kommunikasjon, transport og økonomiske systemer. Nesten alle, om ikke alle av disse systemene anses som komplekse, de er i stadig endring og tilpasser seg for å maksimere fordelene og effektiviteten. Dynamikken i disse systemene er generert av indre og ytre krefter og det er ikke alltid tydelig hvordan kreftene påvirker systemene. Uten disse systemene, vil ikke verden slik vi kjenner den i dag fungere (Koubatis og Schönberger 2005). Samfunnet vi lever i har forandret seg mye igjennom de siste århundrene og graden av kompleksitet har økt. Før klarte man seg med enkle redskaper for eksempel i forbindelse med kommunikasjon eller produksjon og disse lot seg lett reparere uten så store konsekvenser. Nå er utstyret mer komplisert og man er for eksempel avhengig av eksperter for reparasjon.

Samtidig som samfunnet har opplevd økt grad av kompleksitet så har også flere store katastrofer inntruffet (Lewis, 2011). Komplekse systemer er kjennetegnet med at det er vanskelig å se sammenhengen mellom aktivitet og effekt i systemet, og dette kommer av egenskaper som systemet kan ha, slik som for eksempel tilbakemeldingssløyer (Aven og Renn, 2010). Lewis (2011) mener at det er en klar sammenheng mellom økningen i kompleksitet i samfunnet og økningen i katastrofer. For å forklare denne sammenhengen bruker han teorien om det selvorganiserende kritiske punktet. Denne teorien går ut på at selvorganisering fører til en endring i systemet som gjør systemet kritisk og at et kritisk system utsetter seg da for en høy risiko for sorte svaner.

Mange av dagens systemer effektiviseres og optimaliseres slik at de blir kostnadseffektive. Ofte går dette på bekostning av påliteligheten til systemet og Lewis (2011) mener at denne endringen av systemet kan kalles for selvorganisering. Selvorganisering er en prosess hvor en form for organisering skjer som følge av lokale interaksjoner mellom elementene i et uordnet system. Denne prosessen er spontan, det vil si at det ikke er noe indre eller ytre midler som styrer denne prosessen (Koubatis og Schönberger, 2005). Lewis (2011) bruker teorien om det selvorganiserende kritiske punktet til å forsøke å forklare hvordan komplekse systemer utsetter seg for sorte svaner.

Aven har skrevet en kronikk i Stavanger Aftenblad (Aven, 2012a) hvor han skriver om uttrykket sorte svaner og dette avsnittet er basert på denne kronikken. En sort svane er en metafor som beskriver en overraskende hendelse med store konsekvenser. Sorte svaner har en retrospektiv forutsigbarhet, det vil si at man kan ofte forklare hvorfor hendelsen inntraff etter den har funnet sted. Uttrykket om sorte svaner var vanlig i London i det 16. århundret. Da hadde man kun observert hvite svaner og uttrykket ble brukt om ting man ikke trodde eksisterte. I 1697 reiste den nederlandske utforskeren Willem de Vlamingh til Australia og der oppdaget han at det eksisterte sorte svaner. Etter denne oppdagelsen ble uttrykket brukt om hendelser som inntraff og opprinnelig var oppfattet som umulige.

Sorte svaner har blitt et populært uttrykk innenfor risikostyring etter at Taleb gav ut boken sin "The Black Swan" (Taleb, 2008). Uttrykket er med på å bidra til et økt fokus på risikostyring og spesielt på å unngå de store hendelsene med ekstreme konsekvenser.

Kompleksitet kan man kategorisere som et spesielt tilfelle av usikkerhet. En usikker situasjon er kjennetegnet med at man har manglende kunnskap om situasjonen. En kompleks situasjon kan føre til manglende kunnskap om situasjonen fordi det er vanskelig å se sammenhengen mellom aktivitet og effekt (Aven og Renn, 2010). Komplekse systemer kan ha interaksjoner mellom elementene i systemet som for eksempel kan føre til dominosvikt (cascading failure) og med manglende kunnskap om disse så kan dette skape uforutsette hendelser med ekstreme konsekvenser, sorte svaner. Men hvordan komplekse systemer organiseres og reguleres har mye å si for risikoen for sorte svaner.

Et komplekst system inneholder mye informasjon og for å få oversikt over de spesifikke hendelsene som kan inntreffe så trenger man en eksakt modell av systemet (Bak, 1999). Det er ikke praktisk og sjeldent mulig å modellere komplekse systemer i full størrelse, slik som en kopi av jordkloden for å forutsi neste jordskjelv som vil inntreffe.

Teorien om det selvorganiserende kritiske punktet har fått ny oppmerksomhet og blitt satt i sammenheng med sorte svaner etter begrepet sorte svaner ble kjent innenfor risikostyring. Blant annet så har teorien om det selvorganiserende kritiske punktet blitt anvendt på det amerikanske strømmettet i forøk på å forbedre nettet for å minke risikoen for store strømbrudd (Mei S et al. 2011). Det er selvorganisering som driver et system mot det selvorganiserende kritiske punktet og ved å regulere selvorganiseringen så kan det være mulig å unngå at systemet havner på det kritiske punktet. Teorien om det selvorganiserende kritiske punktet foreslår at det er generelle egenskaper i komplekse systemer som gjør de utsatt for



selvorganisering. Aven og Krohn (2014) har skrevet en artikkel om en ny måte å forstå, vurdere og styre risiko. Dette perspektivet fremmer blant annet økt kollektiv tilstedeværelse (collective mindfulness) som man finner i høypålitelige organisasjoner (high reliability organizations, HRO) og fokus på kvalitetsledelse som går ut på kontinuerlig forbedring av systemet. Aven og Krohn konkluderer med at dette perspektivet gir ny innsikt til risikostyringen av potensielle overraskelser og det uforutsette og dermed forbedrer risikostyringen med tanke på å unngå sorte svaner. Vil dette også gjelde for et komplekst system hvor det er vanskelig å få informasjon om systemet og hvor risikobildet med tanke på sorte svaner er noe annerledes enn for en usikker situasjon?

## 1.2 Problemstillinger

I innledningen presenteres det at selvorganisering kan gjøre komplekse systemer mindre pålitelige fordi systemet organiserer seg for å bli mer effektivt uten å ta hensyn til hvor sårbart systemet kan bli. I denne oppgaven vil det derfor undersøkes om selvorganisering også fører til en økt risiko for sorte svaner og ikke bare uønskede hendelser generelt. I en usikker situasjon konkluderer Aven og Krohn (2014) med at perspektivet på risiko som de presenterer i sin artikkel vil bidra til en minket risiko for sorte svaner. Et komplekst system vil være et annerledes risikoproblem enn ved usikkerhet alene. Derfor vil denne oppgaven sette Aven og Krohn sitt perspektiv i sammenheng med kompleksitet. Den første problemstillingen denne oppgaven vil undersøke er følgende:

**Fører selvorganisering i komplekse systemer til større risiko for sorte svaner og kan disse kontrolleres med en ny måte å forstå, vurdere og styre risiko?**

Komplekse systemer inneholder store mengder informasjon og det er foreslått at det er generelle egenskaper som påvirker kompleksiteten til et system. Ved å vurdere disse egenskapene kan man vurdere om systemet er kritisk sammensatt (Lewis, 2011). Derfor vil også denne oppgaven se på hvilke egenskaper det er og hvorfor de er knyttet opp mot sorte svaner.

**Hvilke egenskaper påvirker kompleksiteten og det selvorganiserende kritiske punktet i et system og hvordan er egenskapene knyttet til sorte svaner?**

Komplekse systemer og sorte svaner er knyttet til manglende kunnskap. Med kunnskap menes det at man har en bevisst forståelse av noe og at man kan bruke forståelsen hensiktsmessig. Med manglende kunnskap så finnes informasjonen, men det kan være at den

er misforstått, oversett eller ikke kjent. Denne oppgaven vil derfor også ta for seg kunnskapsforvaltning og hvordan informasjon foredles og formidles. Denne delen av oppgaven vil ikke utformes til en egen problemstilling siden det allerede finnes mye god litteratur om dette emnet og denne oppgaven vil sette denne litteraturen i sammenheng med sorte svaner og kompleksitet.

### 1.3 Avgrensninger

Denne oppgaven vil fokusere på sorte svaner som negative hendelser. En sort svane kan i følge Taleb (2008) både være negative og positive hendelser. Et eksempel på en positiv sort svane er oppdagelsen av penicillin og et eksempel på en negativ sort svane er terrorangrepet 11. september 2001. I en sammenheng med aksjespekulering kan det være interessant å oppdage en sort svane før den inntreffer for da kan man investere i de hendelsene som vil gi stor avkastning. Innenfor risikovurdering så er det typisk de negative sorte svanene som er av interesse, siden man ønsker å unngå at disse kan slå til med ødeleggende konsekvenser.

Kompleksitet kan defineres med at det eksisterer kompliserte sammenhenger mellom effekt og aktivitet i komplekse systemer. Dette kan skape to ulike situasjoner; en hvor man har klart å se sammenhengen mellom effekt og aktivitet og en hvor man ikke har nok kunnskap til å se sammenhengene mellom aktivitet og effekt. I denne oppgaven så vil kun systemer hvor man ikke har nok kunnskap til å se disse sammenhengene mellom effekt og aktivitet refereres til komplekse systemer. Å definere komplekse systemer med manglende kunnskap om sammenhengene mellom aktivitet og effekt skaper en sammenheng til sorte svaner. Sorte svaner er hendelser som kommer som en overraskelse på grunn av manglende kunnskap om hendelsen, se avsnitt 2.2 for mer teori om sorte svaner.

### 1.4 Oppgavens oppbygning

Oppgaven tar for seg teori om risiko og hvordan bakgrunnskunnskapen kan skape fire ulike risikoproblemer. Det er mulig å ha ulike perspektiver når man vurderer risiko og denne oppgaven tar for seg en artikkel Aven og Krohn (2014) har skrevet om et nytt perspektiv på hvordan man kan forstå, styre og vurdere risiko. Dette nye perspektivet innebærer blant annet fokus på kollektiv tilstedeværelse (collective mindfulness) som brukes i høypålitelige organisasjoner (high reliability organizations, HRO) og ideer fra kvalitetsledelse. Det nye perspektivet ønsker å presentere en helhetlig måte å forstå, vurdere og styre risiko og hvordan dette kan brukes i praksis. I denne oppgaven vil dette perspektivet settes i sammenheng med komplekse systemer for å vurdere hvordan det kan bidra til å oppdage potensielle

overraskelser i komplekse systemer. Videre presenteres teori rundt sorte svaner, systemer, kompleksitet, selvorganisering og informasjonsforedling. Denne teorien vil så danne grunnlag for et rammeverk som vil bidra til en vurdering av risikoen for sorte svaner i komplekse systemer. Kompleksitet er et annerledes risikoproblem og skaper en annen situasjon med tanke på risikoen for sorte svaner enn ved en usikker situasjon, men hvordan det komplekse systemet organiseres og reguleres har mye å si for hvor utsatt det er for sorte svaner. Denne oppgaven vil diskutere dette sammen med hvilke sammenhenger som eksisterer mellom komplekse systemer, kunnskap, selvorganisering og sorte svaner. Til slutt så har denne oppgaven utarbeidet et rammeverk for å fremme sammenhengene mellom kompleksitet og sorte svaner.

## 2. Teori

### 2.1 Risiko

#### 2.1.1 Definisjon av risiko

Det eksisterer ikke en omforent definisjon av risiko. Det brukes mange ulike definisjoner i ulike sammenhenger. Store norske leksikon definerer risiko som blant annet fare for tap eller usikkerhet (Store norske leksikon, 2014). Den internasjonale organisasjonen for standardisering har en definisjon som er rettet mot risikostyringen til virksomheter og definerer risiko som «effekten av usikkerhet på målsettinger» (ISO 31000, 2009). Aven (2012b) har utarbeidet en definisjon av risiko som vil bli brukt i denne oppgaven. Den gir et godt utgangspunkt når risiko skal diskuteres i sammenheng med sorte svaner og kompleksitet fordi den vektlegger kunnskap i risikobeskrivelsen.

Aven (2012b) skriver at definisjonen av risiko baserer seg på risikobegrepet (A,C,U) som handler om de fremtidige hendelsene (A) og konsekvensene (C) som inntreffer og usikkerheten (U) forbundet med både A og C fordi de enda ikke har inntruffet. Ut i fra dette så beskrives eller måles risiko som (A', C', Q, K), der A' er spesifiserte hendelser og C' er spesifiserte konsekvenser. A' og C' kan være de hendelsene og konsekvensene som er nevnt i en risikoanalyse. Usikkerheten om A' og C' måles med Q som er basert på bakgrunnskunnskapen K. (A', C', Q, K) danner risikobildet. Det er et klart skille mellom begrepet risiko og risikobildet og dette kan man se i sammenheng med for eksempel en sort svane. En sort svane vil være en hendelse A som inntreffer og har ekstreme konsekvenser, men som ikke er med i risikobildet A'.

#### 2.1.2 Risikoproblemer

Dette avsnittet er basert på Aven og Renn (2010). Definisjonen av risiko som er brukt i denne oppgaven vektlegger viktigheten av bakgrunnskunnskapen man baserer risikobildet på og ut i fra hvilken kunnskap og tolkning man har av denne så kan risikobildet deles inn i fire ulike problemer: enkelhet, usikkerhet, kompleksitet og tvetydighet. Det kan hjelpe å kjenne igjen disse fire problemene for å kunne gå mer systematisk til verks med en risikoanalyse.

**Tabell 1: Risikoproblemer delt inn i fire klasser**

Klasse	Definisjon	Eksempel
Enkelhet	Enkelhet er karakterisert av situasjoner og	En bilulykke. Bilulykker

	problemer som har lav kompleksitet, usikkerhet og tvetydighet. Enkelhet vil ikke si at risikoen er lav, men at det er mulig å forutsi hendelsene og konsekvensene som kan inntreffe nokså sikkert.	inntreffer ofte og man kjenner nokså sikkert til hvilke konsekvenser de kan føre til.
Kompleksitet	Kompleksitet er når det er vanskelig å identifisere og kvantifisere koblingene mellom et mangfold av mulige aktiviteter og deres effekter. Grunnen til at det kan være vanskelig å se sammenhengen mellom de ulike aktivitetene og effektene deres kan være interaktive effekter slik som forsinkelse mellom årsak og virkning, en positiv eller negativ tilbakemeldingssløyfe, interindividuell variasjon eller en mellomliggende variabel (en hypotetisk intern tilstand som brukes til å forklare forholdet mellom observerte variabler). Dette forholdet mellom aktiviteter og effekter er ikke tydelig eller observerbart og krever derfor egne undersøkelser for å forsøke å avdekke de.	For eksempel så er et økosystem komplekst, for om en art forsvinner fra økosystemet så er det ikke lett å si på forhånd hvordan det vil påvirke økosystemet.
Usikkerhet	Usikkerhet er når man ikke har nok eller riktig kunnskap til å si hvilke hendelser og konsekvenser som kan inntreffe. Usikkerhet kan komme av at man ikke har klarhet i alle koblingene i et komplekst system.	Det usikkerhet forbundet med hva et jordskjelv kan føre til. Det kan for eksempel føre til en kjede med hendelser som ikke er lett å avdekke på forhånd.
Tvetydighet	Tvetydighet er ulike synspunkt knyttet til  1. Relevansen, betydning og konsekvenser av grunnlaget for beslutninger (fortolkende tvetydighet) eller	Fortolkende tvetydighet gjelder for eksempel for hormonbehandling av kveg. Fører hormonbehandling av kveg til dårligere helse blant konsumentene eller er

	2. Verdiene som skal beskyttes og prioriteringene som skal gjøres (normativ tvetydighet).	den dårlige helsen forårsaket av inaktivitet og høykalorikosthold. Normativ tvetydighet gjelder for eksempel for genmodifiserte organismer. Mat som er genmodifisert møter ofte motstand, men genmodifisering innen medisin er ønskelig da dette kan gi nytt håp. For normativ tvetydighet så tolkes risikoen opp mot det som allerede finnes (normen, standarden).
--	---	---

Hvilken kunnskap man har som utgangspunkt når risikoen skal vurderes er også viktig i forhold til sorte svaner. Har man et risikobilde karakterisert av enkelthet så er kunnskapen sterk og derfor inntreffer ikke sorte svaner (Aven, 2013a). Dette diskuteres i avsnitt 3.2

**Kompleksitet og sorte svaner.** Hvordan kunnskapen vektlegges er en svært viktig del av risikostyring og den kan vektlegges forskjellig etter hvilket perspektiv man velger å ha for å forstå, vurdere og styre risiko.

### 2.1.3 Nytt perspektiv på hvordan å forstå, vurdere og styre risiko

Nylig har fokuset økt på viktigheten av kunnskapen man har når man forstår, vurderer og styrer risiko. Det finnes flere perspektiver når man fremstiller risiko, hvor sannsynligheter er et hjelpemiddel som ofte brukes. Men sannsynligheter gir en snever fremstilling av risikoen og man bør ikke begrense kunnskapen man har til kun dette enkle verktøyet. Aven og Krohn (2014) har nylig publisert en artikkel som viser et nytt perspektiv på hvordan å forstå, vurdere og styre risiko. Artikkelen deler dette perspektivet inn i fire bolker:

**I.** Hvordan begrepet risiko forstås, vurderes og styres; hvor man har risikobegrepet (A, C, U) og risikobildet (A', C', Q, K).

**II.** Grunnleggende teori, prinsipper og metoder for risikovurdering og styring i tråd med dette begrepet, som dekker for eksempel metoder for kvantifisering av risiko og prinsipper for behandling av usikkerhet, slik som før var prinsippet.

**III.** Konsepter og ideer fra kvalitetsledelse, knyttet til ulike typer av variasjon og som fremhever viktigheten av kontinuerlig forbedring.

**IV.** Begrepet (kollektiv) mindfulness som tolkes i sammenheng med High Reliability Organisasjoner (HRO), med de fem kjennetegnene: fokus på feil, motvilje mot å forenkle, følsomhet for operasjoner, forpliktelse til pålitelighet og respekt for kompetanse.

Disse fire bolkene gir et solid grunnlag i hvordan å fremstille og forholde seg til risiko. Nedenfor vil de fire bolkene forklares.

**I.** Dette forklares i avsnitt 2.1.1.

**II.** Grunnleggende teori om risiko

Her presenteres ulike begrep som brukes i forbindelse med fremstilling og styring av risiko. Dette nye perspektivet på risiko vektlegger kunnskapen risikobildet baserer seg på og i forbindelse med dette så brukes begreper som sårbarhet, robusthet og forsiktighetsprinsippet for å nevne noen. Disse begrepene er med å skape en mer detaljert beskrivelse av risiko.

#### Sårbarhet (vulnerability)

Konseptet sårbarhet gitt A, presenteres som  $(C,U|A)$ . Beskrivelsen av sårbarhet gitt A, presenteres som  $(C',Q,K|A')$ .

Et system er vurdert som sårbart hvis det har en høy grad av sårbarhet, som vil si at systemet har en høy sannsynlighet for å kollapse om det utsettes for en mindre belastning.

#### Robusthet

Robusthet er det motsatte (antonym) av sårbarhet. Robuste systemer kan i større grad motstå å kollapse om det utsettes for en mindre belastning.

#### Resiliens

Resiliens handler om at et system kan stå i mot hendelser også nye type hendelser. Resiliens gitt hendelse A kan derfor forklares som  $(C,U| \text{alle } A, \text{ også nye typer } A)$  og kan beskrivelsen

som (C',Q,K| alle A, også nye typer A). Et eksempel på dette kan være at resiliensen vurderes som høy om en person har lav sannsynlighet for å dø av en virusinfeksjon når dette også gjelder for nye typer virus.

### Sannsynlighet

En sannsynlighetsmodell reflekterer variasjoner i en hypotetisk uendelig stor populasjon med like enheter.

En frekvensbasert sannsynlighet  $P_f(A)$  av hendelse A uttrykker frekvensen hendelse A inntreffer når man betrakter en uendelig stor populasjon av like situasjoner eller scenarioer. Generelt sett så er  $P_f(A)$  ukjent og må estimeres og dermed skilles det mellom den sanne  $P_f(A)$  og  $P_f(A)^*$  estimert.

En kunnskapsbasert sannsynlighet P uttrykker graden av tro som tildeleren av sannsynligheten har. Sannsynligheten forstås for eksempel med referanse til en urnestandard. For eksempel så betyr  $P(A) = 0,1$  at tildeleren av sannsynligheten sammenligner sin grad av tro/usikkerhet om hendelsen A som kan inntreffe med graden av tro på/usikkerheten knyttet til å trekke en rød ball ut fra en urne som består av 1 rød og 9 blå baller.

### Risikostyring

Forsiktighetsprinsippet (cautionary principle) og føre-varprinsippet (precautionary principle) spiller en viktig rolle innenfor risikostyring når det gjelder å vektlegge usikkerhetene under beslutningstaking.

Robusthet og resiliens er eksempler på hvordan forsiktighetsprinsippet kan brukes.

Forsiktighetsprinsippet handler om at man i en situasjon med usikkerhet skal ha forsiktighet som det regjerende prinsippet (Aven og Vinnem, 2007). Har man et system med høy robusthet eller resiliens så er systemet bygget opp slik at man i størst mulig grad følger prinsippet med å være forsiktig. For eksempel så er det slik at den norske oljeindustrien har en regulering som sier at boenhetene på en plattform må være beskyttet av brannvegger av en viss kvalitet og at dette gjelder veggene som vender mot prosess og boreområdene på plattformen (Aven og Vinnem, 2007). .

Risikoaksept bør ikke baseres på kun vurderinger av sannsynligheter. Sannsynligheter er et enkelt verktøy for å presentere risiko og man kan gå glipp av viktig informasjon om risikoen med å kun basere seg på dette verktøyet.



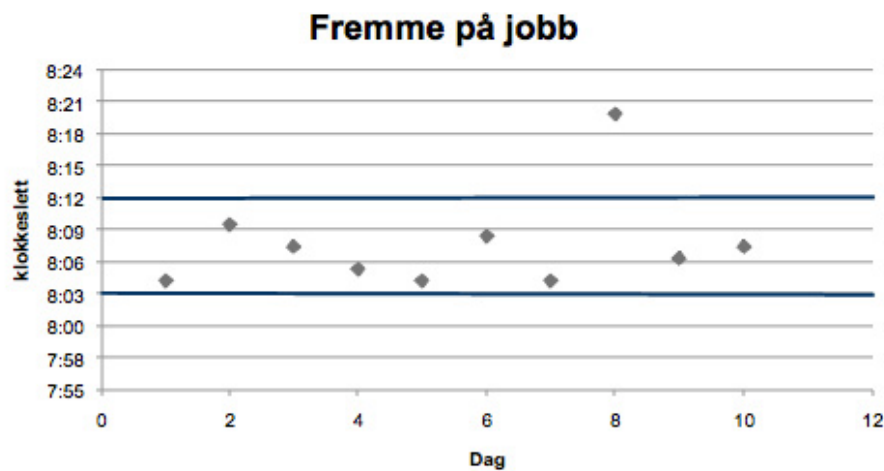
Prosesser som har som mål å redusere risiko bør basere seg på ALARP prinsippet. Hvor det er et fokus på usikkerheter og styrken av kunnskapen som en sannsynlighetsvurdering baserer seg på.

Kost-nytteanalyser (cost-benefit analyses) må støttes av risikovurderinger for å gi grunnlag nok til beslutninger. Da disse typene vurderinger ofte baserer seg på verdier og legger lite vekt på risiko og usikkerheter.

**III.** Kvalitetsledelse handler blant annet om forutsigbarhet og uforutsigbarhet og hvordan man skal styre et system. Deming (2000) forklarer kvalitet som et produkt eller en tjeneste som kan hjelpe noen og som bidrar til et sunt og bærekraftig marked. Kvalitetsledelse kan man dele inn i fem deler.

Først så kan man si at det er to variasjoner av utfall av hendelser som kan inntreffe. Deming (2000) forklarer at det er variasjoner av vanlige årsaker (common-cause variation) og variasjoner av spesielle årsaker (special-cause variation). Variasjonene fra vanlige årsaker vil ligge innenfor kontrollverdien av hva som er akseptabelt og være vurdert som forutsigbare. Mens variasjonene fra de spesielle årsakene vil ikke ligge innenfor og vil være vurdert som uforutsigbare. Variasjonene er forutsigbare eller uforutsigbare i forhold til historisk erfaring. For eksempel så finnes det noen personer som alltid kommer ti minutter for seint hver morning og hver morning har de en unnskyldning på hvorfor de kom for seint. Det kan være at det var ekstra mye rushtrafikk, at bilen var tom for drivstoff eller at personen måtte lete etter nøklene sine. Ingen morgener var helt like, men hendelsene som inntraff er på et generelt grunnlag forutsigbare. Uavhengig av hvilken hendelse som kommer til å inntreffe så er det vanlig at noe inntreffer og dette burde fått personene til å reise hjemmefra ti minutter tidligere for å rekke frem om morgningen. Derimot så vil en spesiell variasjon være uforutsigbar og alltid komme som en overraskelse. Slik som at det hadde skjedd en trafikkulykke på vei til jobb. Figur 1 viser klokkeslettet en person som starter kvart over åtte på jobb var fremme på jobben. I løpet av ti dager noterte han klokkeslettet. Nesten alle verdiene havnet mellom 3 og 12 minutter over åtte, som personen har satt seg som akseptabelt tidspunkt å være fremme på jobb og disse dagene inntraff ingen overraskelser. Noen dager var han litt senere enn andre fordi det var litt mer rushtrafikk eller fordi han måtte fylle drivstoff på bilen. På dag åtte skjedde det en hendelse som personen ikke hadde forventet og han måtte ta en omkjøring fordi det hadde skjedd en trafikkulykke på vei til jobben hans. Denne hendelsen havnet utenfor hva som er akseptabel tid å komme fram på

jobb. Hendelsen på dag åtte er et eksempel på en spesiell variasjon i tidspunktet han var fremme på jobb, mens de andre dagene hadde kun vanlige variasjoner forekommet.



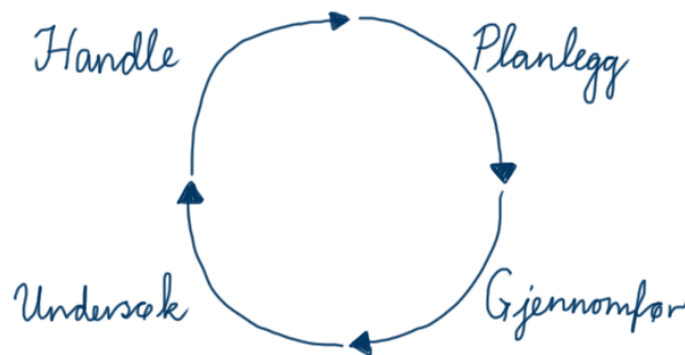
Figur 1: Tidspunktet en person er fremme på jobb i ti dager

Variasjoner vil alltid inntreffe og for å ta høyde til variasjoner trenger man kunnskap. Det er nødvendig med kunnskap om hva en spesiell og en vanlig variasjon er og hvordan man skal reagere på disse. Det vanskelige er om man bare opplever vanlige variasjoner, da vil nemlig en spesiell variasjon komme som en enda større overraskelse. Det blir som hanen som galer hver morning og tror at den er skyld i at solen står opp helt til den en morning glemmer å gale og ser at solen står opp allikevel. Kun vanlige variasjoner kan gi lite informasjon slik at kunnskapen ikke er dekkende nok.

For det andre så handler kvalitetsledelse om at det ikke er mulig å måle det aller meste av forvaltningsvirksomhet på en objektiv måte (Deming, 2000). For eksempel så kan man ikke måle effekten av opplæring. Man kan måle kostnaden, men ikke effekten på en objektiv måte. Selv om effekten ikke kan måles så er det svært viktig å fokusere på god opplæring for å være forberedt på ulike situasjoner som kan inntreffe, både de som inntreffer som en normal variasjon, men også de som inntreffer som en spesiell variasjon.

For det tredje så handler kvalitetsledelse om forbedring av prosessene eller produktene i stedet for forbedring basert på tall, slik som å senke kostnadene for enhver pris. Det er viktig at forbedringene som gjøres har et fokus på at helheten skal forbedres. For eksempel så skal en kvinne fly til en annen by for å holde et foredrag og hun kan velge mellom to flyruter for å komme frem. Den ene flyruten er svært billig, men den vil også ta mye lengre tid en alternativet som koster litt mer. Kvinnen ønsker å spare penger og velger den billigste og

lengste flyreisen, men når hun kommer frem og holder foredraget sitt så er hun trøtt og gjennomfører ikke foredraget så bra som hun hadde ønsket. Dette fører til at hun blir mindre etterspurt og antall foredrag hun får holde går ned. I ettertid innser hun at den billige flyreisen gjorde at hun tapte penger i det lange løp. Kvinnen burde ha vurdert hva den billige flyreisen ville føre til helhetlig. Deming (2000) skriver om en syklus for forbedring som går ut på å planlegge, gjennomføre, undersøke og så å handle slik Figur 2 viser. Først starter man med å planlegge enten en forandring eller en test basert på et ønske om forbedring. Så gjennomfører man forandringen eller testen (helst i liten skala) og etter dette må man undersøke resultatene. Da kan man spørre seg hva man lærte og om noe feilet. Etter undersøkingen må man handle og man kan enten innføre forandringen, forkaste den eller gjennomgå syklusen igjen.



Figur 2: Forbedringssyklus for en prosess eller et produkt

For det fjerde så handler kvalitetsledelse om riktig målstyring. Mange systemer har mindre delmål som man forsøker å nå for å kunne nå hovedmålet til systemet, men dette gjør at man kan glemme å fokusere på helheten til systemet. Slik som kvinnen som skulle holde foredrag i forrige eksempel som ikke fokuserte på helheten. Det er ikke anbefalt å dele systemet opp i mindre deler og bruke disse enkelt delene for å oppnå hovedmålet til systemet, man må vurdere hvilken effekt en endring i et delsystem kan få på hele systemet.

For det femte handler kvalitetsledelse om at kunnskap baserer seg på teorier. Styring og ledelse innebærer antagelser. Noe så enkelt som å komme seg hjem en kveld innebærer antagelser. Enten så antar du at bilen din vil starte eller så antar du at bussen vil komme å plukke deg opp. Teorien om kunnskap handler om at et hvert utsagn basert på kunnskap innebærer antagelser om framtiden og at antagelsene har en viss risiko for å være feil. Antagelsene er gjort fordi man ikke har observert noen feil tidligere i historien. Dette fører til at man skaper teorier om mulige sannheter. Det er viktig å være klar over denne risikoen for at kunnskapen ikke er fullstendig eller ikke er korrekt.

**IV. Kollektiv tilstedeværelse (collective mindfulness)** vil si at alle som er involvert i en organisasjon har en stabil tilstedeværelse i forhold til de fem kjennetegnene som høypålitelige organisasjoner (high reliability organizations) har. De fem kjennetegnene er:

#### Fokus på feil

Det punktet handler om å fokusere på feil eller uønskede hendelser som kan inntreffe. Risiko handler i stor grad om uønskede hendelser som inntreffer, avvik, katastrofer eller å ikke nå målene sine. Tidlige tegn på uønskede hendelser er også en svært viktig dimensjon innenfor det å fokusere på feil. Tidlige tegn på uønskede hendelser kan gi en pekepinne på hva som kan inntreffe, men er også nyttige for å hente informasjon i situasjoner hvor man har lite kunnskap om uønskede hendelser som kan inntreffe. Å oppdage potensielle overraskelser er svært viktig når det kommer til å minke risikoen for sorte svaner.

#### Motvilje til å forenkle

Man skal ikke basere vurderinger av risiko på enkle verktøy som brukes til å fremstille risiko. Enkle verktøy som brukes for å fremstille risiko vil skape et smalt bilde av risiko og det er viktig å være klar over dette. Det skal streves etter å ha et så komplett risikobilde som mulig. Slik at risiko ikke kun fremstilles med for eksempel sannsynligheter, men at hele bakgrunnskunnskapen også er tatt med i risikobildet slik at uforutsette hendelser og potensielle overraskelser kan oppdages. Et eksempel er at hele dette nye perspektivet på risiko skal brukes for å få et så komplett risikobilde som mulig.

#### Følsomhet for operasjoner

Nøkkelen her er oppmerksomheten og kontinuerlig tilstedeværelse. Det er viktig å være oppmerksom på hva som skjer underveis slik at man kan rette seg etter ny informasjon. Dette foregår med å kontinuerlig samle informasjon om situasjonen man vurderer for så å bruke denne informasjonen til å oppdatere beskrivelsen av risikoen som igjen fører til aktuelle tiltak.

#### Forpliktelse til pålitelighet (resiliens)

Dette punktet handler om hvordan man møter uforutsette hendelser og overraskelser. Her er det viktig å ha høy resiliens for å la seg minst mulig påvirke av hendelser som inntreffer. Det krever masse trening å få et resilient system, men det er svært viktig for suksess. Som nevnt tidligere så handler resiliens om at et system kan stå i mot hendelser også nye typer hendelser. Et eksempel på dette kan være at resiliensen vurderes som høy om en person har lav sannsynlighet for å dø av en virusinfeksjon når dette også gjelder for nye typer virus.

### Respekt for kompetanse

Det er viktig å la personene med den riktige kompetansen ta seg av aktuelle utfordringer fordi dette øker muligheten for å få mest mulig riktig løsning på utfordringen.

### **Den nye måten å vurdere risiko**

Innen den nye måten å tenke på risiko på så fremmes viktigheten av en vurdering av antagelsene som er gjort. Antagelser er en stor del av hvordan man kan forsøke å vurdere fremtiden, men det er viktig å gjøre en vurdering av hva som ligger til grunn for disse antagelsene.

Et sentralt aspekt av variasjoner fra spesielle årsaker handler om at antagelsene man gjør seg ikke er gode nok. For eksempel så kan man plutselig oppleve en svekkelse i utstyret som benyttes slik at man får en negativ trend i feilfrekvensen. Denne kommer som en overraskelse i forhold til overbevisningen man har fra antagelsene som er gjort. I denne situasjonen så venter man på at svekkelsen i utstyret skal gi seg syne i en klar negativ trend. Dette er en reaktiv måte å reagere på og man kan risikere at svekkelsen kan få store konsekvenser, spesielt gjelder dette i komplekse systemer hvor en mindre hendelse kan eskalere å få store konsekvenser. En risikovurdering av avvik fra antagelsene er et viktig verktøy i denne sammenhengen. Legger man i tillegg vekt på oppmerksomhet og tilstedeværelse, som i stor grad handler om å oppdage feil før de inntreffer så vil man kunne få en proaktiv måte å reagere på og dermed i større grad avdekke potensielle overraskelser.

## **2.2 Definisjoner av sorte svaner**

Taleb (2008) definerer en sort svane som en hendelse med disse tre egenskapene:

- Den er vanskelig å forutse, for det er ikke noe i historien som kan overbevise oss om at det er mulig.
- Den har store konsekvenser.
- Den har en retrospektiv forutsigbarhet. Med det mener han at det kan forklares hvorfor hendelsen skjedde etter hendelsen har inntruffet.

Aven (2013b) definerer en sort svane som en ekstrem, overraskende hendelse i forhold til den nåværende kunnskapen eller troen. Konseptet må dermed alltid sees på i sammenheng med kunnskapen/oppfatningen til dem det gjelder og i tiden det gjelder.

Ut i fra denne definisjonen har Aven delt sorte svaner inn i tre kategorier:

- a. En ukjent ukjent, det vil si at det er noe man ikke vet at man ikke vet.
- b. En kjent ukjent, det vil si en hendelse som ikke er med i risikovurderingen på grunn av manglende kunnskap.
- c. En hendelse hvor sannsynligheten for at den skal inntreffe er vurdert som neglisjerbar og dermed ikke oppfattet som mulig.

Lewis (2011) sin definisjon av en sort svane tar utgangspunkt i Taleb sin definisjon, men i tillegg oppsummerer Lewis en sort svane som en ikke-lineær ekstrem hendelse. Med dette kan man si at han mener at sorte svaner oppstår i komplekse systemer utsatt for selvorganisering. Han forklarer videre at det er det selvorganiserende kritiske punktet som i høyest grad utsetter komplekse systemer for sorte svaner. Dette diskuteres videre i avsnitt 3.3.3 Det selvorganiserende kritiske punktet og sorte svaner.

## 2.3 Systemer

### 2.3.1 Definisjon

Store norske leksikon definerer et system som deler som virker sammen i en helhet og utdyper det med at delene hører sammen eller er ment å virke sammen etter en bestemt plan (Store norske leksikon, 2012).

Det finnes flere ulike typer systemer, i denne oppgaven er kompleksitet et viktig tema og derfor vil teorien om normale ulykker eller "normal accidents" som den opprinnelig kalles presenteres. Denne teorien tar blant annet for seg komplekse systemer og hvordan ulykker inntreffer i slike systemer.

### 2.3.2 Naturlige og designede systemer

Man kan også dele systemer inne etter om det er et naturlig eller et designet system. Koubatis og Schönberger (2005) diskuterer i sin artikkel hva et naturlig og et designet system er og dette avsnittet er basert på den artikkelen. Et naturlig system er et system som har oppstått uten menneskelig innvirkning og det er ikke alltid det er tydelig hva som er hensikten med

systemet. De aller fleste systemer som eksisterer er naturlige systemer og det kan for eksempel være et fysisk system eller et levende system. Eksempler på naturlige systemer kan være solsystemet eller menneskekroppen. Et designet system er designet av mennesker og systemet har en klar hensikt, og alle elementene i systemet bidrar til å opprettholde systemet. Eksempler på designede systemer kan være transportsystemer eller kommunikasjonssystemer slik som internettet og jernbanenettet.

### 2.3.3 Kritisk system

I sammenheng med sorte svaner så kan det være interessant å se på teorien om et kritisk system. Bak (1999) mener at komplekse systemer er kritiske og Lewis (2011) mener at dette gjør komplekse systemer utsatt for sorte svaner. Et kritisk system er et system som har potensialet til å rammes av uønskede hendelser hvor konsekvensene kan være tap av liv, vesentlig skade på verdier eller miljøet (Knight, 2002). Knight mener også at det er mulig å definere et system som kritisk med tanke på sikkerheten. Da har systemet potensialet for å rammes av uønskede hendelser som kan føre til uakseptable konsekvenser. Innenfor for eksempel medisinen, kjernekraftverk eller våpenindustrien eksisterer det mange eksempler på kritiske systemer hvor et kunstig hjerte er et eksempel. Knight mener også at mange "nye" systemer er sikkerhets kritiske selv om det ikke nødvendigvis er tydelig. For eksempel så er det tydelig at en uønsket hendelse med et kommersielt fly kan føre til tap av liv, men det er ikke like tydelig at en uønsket hendelse i mobilnettverket kan føre til tap av liv. Men om man ikke kan ringe til nødetatene i forbindelse med en ulykke så har man et potensial for tap av liv.

### 2.3.4 "Normal accident theory"

Perrow (1999) har skrevet boken "Normal accident theory" hvor han beskriver fire ulike systemer, hvor et system kan være lineært eller komplekst og løst eller tett koblet, se Tabell 2. Et lineært system er hvor koblingene er forventet og kjente, slik som på et produksjonsband. Et komplekst system er hvor koblingene ikke er kjente. Hvor tett systemet er koblet sammen har også noe å si for hvordan det vil oppføre seg om en komponent ikke fungerer. Har man et system som er tett koblet så vil feilen lett spre seg videre i systemet uten hindring, men er systemet løst koblet så er det lettere å gå inn i systemet å hindre feilen fra å spre seg.

Tabell 2: Ulike systemer, "normal accident theory"

lineært, løst koblet	lineært, tett koblet
komplekst, løst koblet	komplekst, tett koblet

Et komplekst system har egenskaper som skaper samhandlinger eller interaksjoner mellom elementene i systemet og hvor disse samhandlingene ikke er kjente. De kan derfor komme som en overraskelse. Har man i tillegg et tett koblet system så vil dette føre til at en liten feil vil kunne påvirke flere elementer i systemet og konsekvensene kan bli store. Derfor vil spesielt et tett koblet komplekst system være utsatt for sorte svaner. Man har ikke informasjon om hvordan hele dynamikken til systemet fungerer og systemet er satt sammen slik at en liten hendelse kan eskalere til å bli større.

Bak (1999) bruker en sandhaug som eksempel på et komplekst system som forklart i avsnitt 2.5.1 Fenomenet selvorganisering. Sandhaugen er også et fint naturlig eksempel på hvordan man kan tenke seg at hendelser inntreffer i komplekse systemer som er enten tett eller løst koblet. Det kan være vanskeligere å vurdere hvordan et tett koblet *komplekst* system kan rammes av hendelser enn et tett koblet *lineært* system. Et tett koblet lineært system som rammes av en uønsket hendelse vil kun føre til at hendelsesrekken forskyves, mens i et tett koblet komplekst system med interaksjoner mellom de ulike elementene er det ikke like lett å forutsi utfallet av en uønsket hendelse. Denne oppgaven har derfor tatt utgangspunkt i Bak sitt sandhaug eksempel og sett på hvordan en tett og en løs sandhaug oppfører seg for å forsøke å forklare tett koblede komplekse systemer. Et løst koblet komplekst system kan være en tørr sandhaug og et tett koblet komplekst system kan være en våt sandhaug. Vannet i den våte sandhaugen bidrar til at sandkornene i sandhaugen holdes tettere sammen på grunn av de polare egenskapene til vannet og man kan si at sandkornene i haugen er tett koblet. Bygger man to sandhauger; en våt og en tørr så vil man se at den våte sandhaugen vil bli mye høyere fordi det forekommer ikke så mange små sandskred som i den tørre sandhaugen slik **Error! Reference source not found.** viser. Når det inntreffer et sandskred i den våte sandhaugen så vil det føre til at mer sand raser fordi sandkornene er tettere koblet sammen og drar derfor med seg mer sand.





Figur 3: enkel illustrasjon av tørr og våt sandhaug.

For å få oversikten over et system så er det viktig å se på helheten i følge Koubatis og Schönberger (2005). Systemer er i følge Perrow (1999) utsatt for noe han kaller en normal ulykke eller systemulykke. Det er fordi Perrow mener at systemer som har komplekse interaksjoner og tett kobling vil oppleve uønskede hendelser og derfor vil hendelsen være en normal ulykke. I en normal ulykke som også kalles for en systemulykke fungerer alle de enkelte komponentene slik de skal, men det oppstår allikevel en ulykke på grunn av misforståelser eller uplanlagte hendelser mellom komponentene. Feilen ligger i hvordan systemet er designet og ikke i hvordan komponentene er designet.

Et eksempel på en tenkt systemulykke kan være om du en morning har tatt fri for å kunne gå på et jobbintervju. Du står opp og finner ut at det ikke er mer kaffe igjen og du tenker at om du skynder deg så kan du rekke å kjøpe deg en kaffe på veien. Du samler sammen det du trenger til jobbintervjuet og småløper ut av leiligheten. Du kommer til bilen og finner ut at du glemte nøklene igjen inne i leiligheten. Leiligheten har smekklås og du er låst ute. Du tenker at du kan ta bussen til intervjuet, men finner ut at lommeboken også ble låst inne med nøklene. Du husker at naboen din er pensjonist og spør han om å låne bilen hans, men den har datteren hans allerede lånt. I dag kom du deg ikke til jobbintervjuet og tenker at alt gikk galt. Systemet som skulle bringe deg til jobbintervjuet feilet og når du ringer til firmaet for å forklare situasjonen så kan du ikke peke på en enkelt ting som feilet.

I en systemulykke så er det ikke en enkelt hendelse som inntreffer, men det er systemet og hvordan det er satt sammen som feiler. Dette kan ofte være vanskelig å få frem i en risikovurdering for man må vurdere dynamikken til systemet og hvordan elementene virker

sammen i en helhet og ikke kun risikoen for hvilke hendelser som kan inntreffe eller hvordan de enkelte elementene opererer. Spesielt utfordrende er det i komplekse systemer hvor det er vanskelig å se sammenhengen mellom effekt og aktivitet og dermed også vanskelig å få oversikt over hele dynamikken til systemet.

Lewis (2011) bruker Perrow (1999) sin teori om normale ulykker som utgangspunkt og mener at det inntreffer to typer uønskede hendelser i komplekse systemer og det er normale ulykker og sorte svaner. Han mener at forskjellen er at en sort svane har ekstreme konsekvenser, mens en normal ulykke har mindre konsekvenser. Begge hendelsene er forventet i følge Lewis (2011) slik som Perrow (1999) mener en normal ulykke er forventet i komplekse systemer, selv om den spesifikke sorte svanen kommer som en overraskelse.

## 2.4 Kompleksitet

### 2.4.1 Definisjon av kompleksitet

I kapittel 2.1.2 presenteres ulike risikobilder og kompleksitet er et av disse. Her presenterer Aven og Renn (2010) en kompleks situasjon som en situasjon hvor det er vanskelig å identifisere og kvantifisere koblingene mellom et mangfold av mulige aktiviteter og deres effekter.

Perrow (1999) deler systemer inn i komplekse og lineære og mener at komplekse systemer er systemer som har komplekse interaksjoner. En kompleks interaksjon er en interaksjon som har ukjente, ikke forventede eller ikke planlagte følger, og som enten ikke er synlig eller ikke umiddelbart forståelig.

Ser man til Aven og Renn (2010) sin definisjon av kompleksitet så nevner den at det er vanskelig å identifisere og kvantifisere koblingene mellom aktivitetene og effektene. Det er ulike egenskaper komplekse systemer kan ha som kompliserer systemet og gjør det vanskelig å få kunnskap om systemet. Aven og Renn nevner noen egenskaper i kapittel 2.1.2. Et eksempel på en slik egenskap er en positiv eller negativ tilbakemeldingssløyfe som kompliserer forholdet mellom effekt og aktivitet.

Kompliserte sammenhenger mellom effekt og aktivitet i komplekse systemer kan skape to ulike situasjoner; en hvor man har klart å se sammenhengen mellom effekt og aktivitet og en hvor man ikke har nok kunnskap til å se sammenhengene mellom aktivitet og effekt. I denne oppgaven så velges det å referere til situasjoner hvor man har klart å identifisere og kvantifisere koblingene mellom aktivitet og effekt som kompliserte systemer. Situasjoner

hvor man ikke har nok kunnskap til å se disse sammenhengene refereres til komplekse systemer. Et eksempel på et komplisert system kan være et sveitserur. Sveitserurene er kjente for å være kompliserte urverk fordi de har mange deler involvert og med mange ulike typer tannhjulsoverføringer kan urene skape sammenhenger mellom effekt og aktivitet som er vanskelige å avdekke, men mulig. Eksempel på et komplekst system kan være DNA, her har man manglende kunnskap. Blant annet så vet man ikke hvordan DNAet vil reagere med ulike kjemikalier.

I denne oppgaven vil derfor komplekse systemer defineres både av at man mangler kunnskap mellom effekt og aktivitet i systemet, men også av at systemet har komplekse egenskaper.

Grunnen til at det i denne oppgaven kun velges situasjoner med manglende kunnskap mellom effekt og aktivitet er fordi dette skaper en situasjon som er interessant i forhold til sorte svaner. Dette diskuteres i avsnitt 3.2 Kompleksitet og sorte svaner.

For å defineres som et komplekst system så må systemet også ha minst en kompleks egenskap. En kompleks egenskap er en egenskap komplekse systemer kan ha som kompliserer forholdet mellom effekt og aktivitet. Uten komplekse egenskaper vil systemet kun betegnes som usikkert på grunn av den manglende kunnskapen om systemet.

#### 2.4.2 Komplekse egenskaper

En kompleks egenskap er en egenskap systemet kan ha som gjør at dynamikken til systemet er komplisert og systemet må minst ha en kompleks egenskap sammen med manglende kunnskap for å defineres som komplekst. Egenskapen kompliserer forholdet mellom aktivitet og effekt. Aven og Renn (2010), Perrow (1999) og Lewis (2011) diskuterer kompleksitet og hvordan komplekse systemer oppfører seg. Lewis nevner ingen spesifikke komplekse egenskaper, men sier at det er alle egenskaper som ikke er lineære, altså som fører til at forholdet mellom aktivitet og effekt ikke utarter seg som forventet. Aven og Renn (2010) og Perrow (1999) har listet egenskaper som de mener komplekse systemer kan ha.

Aven og Renn mener at komplekse systemer kan ha disse egenskapene:

- Forsinkelse mellom årsak og virkning
- En positiv eller negativ tilbakemeldingssløyfe
- Interindividuell variasjon
- Mellomliggende variabel

Perrow mener at komplekse systemer kan ha disse egenskapene:

- Tett samlet utsyr
- Mange komplekse interaksjoner
- Begrenset mulighet for isolasjon ved svikt
- Subsystemer
- Spesialisert personell
- Vanskelig å erstatte deler
- Mange tilbakeføringssløyfer
- Indirekte informasjonskanaler
- Begrenset forståelse av prosessene

## 2.5 Selvorganisering

### 2.5.1 Fenomenet selvorganisering

Selvorganisering er en prosess hvor en form for organisering skjer som følge av lokale interaksjoner mellom elementene i et uordnet system (Koubatis og Schönberger, 2005).

Denne prosessen er spontan, det vil si at det ikke er noe indre eller ytre midler som styrer denne prosessen. Men startbetingelsene eller lover som virker inn på faktorene i systemet kan velges.

Adam Smith (1776) beskrev selvorganisering i sin bok "An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations". Her beskriver han et samfunn hvor de individuelle menneskene i samfunnet handler for egen vinning og at det fører til at samfunnet i sin helhet fungerer på best mulig måte. Dette systemet har ikke en sentral enhet som regulerer systemet og de individuelle menneskene i samfunnet har ingen kunnskap om hva som fremmer samfunnet i sin helhet. Allikevel mener Smith at samfunnet utnytter ressursene bedre og har en bedre økonomi i et system uten en sentral enhet enn i samfunn som reguleres av en sentral enhet. Denne teorien er kjent som "den usynlige hånden". Denne boken ble skrevet i den klassiske liberalistiske tiden hvor man tok et oppgjør mot styresmaktene. Dette er en av de første nedskrevne beskrivelsene av et selvorganiserende system (Koubatis og Schönberger, 2005).

Selvorganisering er et begrep som er kjent over flere arenaer og som oppstår oftest i komplekse systemer. Det er fordi komplekse systemer har komplekse egenskaper som nevnt i forrige avsnitt om kompleksitet og begrenset forståelse av prosessene i systemet. Begge disse

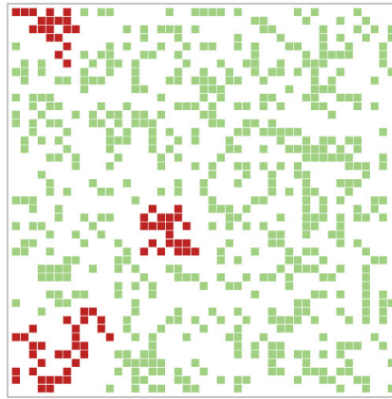
faktorene gjør komplekse systemer vanskeligere å styre, nettopp fordi man ikke har full forståelse av systemet og det gjør også at komplekse systemer er mer utsatt for egen organisering innad i systemet. Selvorganisering fører ofte til forbedringer av systemet i form av bedre utnyttelse av ressurser og at systemet opererer på en optimal og kostnadsbesparende måte (Lewis, 2011). Det diskuteres også om selvorganisering er grunnen til at både hele universet eksisterer, men også at det er liv på jorda. Evolusjonen er også en form for selvorganisering hvor det er de mest tilpasningsdyktige artene som får leve videre og dermed noen egenskaper som overlever andre. Artene organiserer seg slik at de kan overleve i miljøet. Prinsippet om minst mulig anstrengelse (avsnitt 2.5.6) som også kan tolkes som effektivitet er foreslått som nøkkelord for hva systemer utsatt for selvorganisering ønsker å oppnå (Zipf, 1949). Effektivitet beskriver hvordan tid, anstrengelse, ressurser og kostnad utnyttes i forhold til oppgaven som skal utføres. Store norske leksikon forklarer effektivitet som blant annet at utbyttet eller avkastningen er stor i forholdt til innsatsen (Store norske leksikon, 2009). Effektivitet og ønsket om høyt utbytte i forhold til innsats fungerer som en tiltrekker for systemer, både naturlige og designede (Lewis, 2011) (Zipf, 1949).

Tiltrekkeren skaper et punkt som er kjent som det selvorganiserende kritiske punktet.

### 2.5.2 Det selvorganiserende kritiske punket

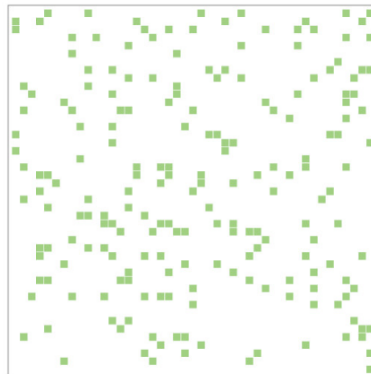
Det kritiske punktet er en teori om at systemet har et kritisk punkt hvor det utsetter seg for stor risiko for at en hendelse skal ramme systemet og også for stor risiko for at en hendelse skal eskalere (Lewis, 2011). Det kritiske punktet fungerer som en tiltrekker for systemet fordi systemet opererer på et effektivt nivå på det kritiske punktet, men det kritiske punktet er også et sted hvor systemet rammes av uønskede hendelser fordi systemet har en grad av effektivitet som går på bekostning av påliteligheten til systemet (Lewis, 2011).

Skogbranner gir et godt og enkelt eksempel som forklarer fenomenet med selvorganisering og det selvorganiserende kritiske punktet. Det er Lewis (2011) som først brukte skogbranner som et eksempel for å illustrere selvorganisering. Man kan tenke seg at en skog kan være et rutenett og hver rute representerer plassen hvor et tre kan vokse. Etter hvert som tiden går så vil flere og flere ruter fylles opp med trær. Tilfeldig inntreffer det lynnedslag i rutene. Treffer et lynnedslag en rute med et tre så vil treet brenne opp og alle trær som vokser i rutene rundt treet vil også brenne opp.



**Figur 4 : Røde ruter representerer trær som brenner, grønne representerer trær og hvite er åpne plasser**

Når rutenettet fylles opp med trær så øker sannsynligheten for at et lynnedslag treffer en rute med et tre og ikke en tom rute. Etter hvert som skogen vokser vil også flere trær stå i ruter som er tett inntil et annet tre og brannene som oppstår vil bli større. Inntreffer det lynnedslag ofte så vil skogen ikke rekke å vokse seg stor, men heller bli utsatt for mange små skogbranner. Inntreffer det lynnedslag sjeldent så vil skogen rekke å vokse seg større og skogbrannene som oppstår da vil være mye større.



**Figur 5: Få trær gjør at skogen sjeldnere blir truffet av lynet og gir små skogbranner med mindre konsekvenser.**



**Figur 6: Mange trær gjør at skogen oftere blir truffet av lynet og gir store skogbranner med store konsekvenser.**

Dette eksempelet forklarer at når trærne har høy grad av sammenkobling altså at mange trær står i umiddelbar nærhet så er det et mye større potensial for en stor skogbrann. Skogbranner er en måte naturen organiserer seg selv på. Det selvorganiserende kritiske punktet for en skog vil være nådd når størsteparten av trærne står i umiddelbar nærhet til andre trær. Her vil lyn ha en større forventning av å treffe ruter med trær enn tomme ruter og når det begynner å brenne så vil skogbrannen bli stor. Det er mulig å styre hvilke lover som påvirker systemet om man ønsker å regulere skogbrannfaren. Det kan føre til at systemet kan unngå det selvorganiserende kritiske punktet. Man kan regulere faren for en stor skogbrann med å enten sette fyr på skogen selv når den enda er så liten at det kun vil starte små branner eller man kan gå inn å hugge ned trær for å tynne ut skogen slik at få trær står i umiddelbar nærhet og sannsynligheten for en stor skogbrann minker.

Oppsummert for disse to avsnittene så fører selvorganisering til mer effektive systemer, men også til at systemer er utsatt for det selvorganiserende kritiske punktet. Selvorganisering oppstår i systemer med komplekse egenskaper og hvor det er begrenset kunnskap om disse egenskapene, men det er mulig å regulere systemet med hjelp av lover og startbetingelser. I komplekse systemer er det begrenset informasjon om egenskapene til systemet og dermed vanskeligere å regulere selvorganiseringen. Dette gjør det også vanskeligere å oppdage det kritiske punktet.

Det kritiske punktet er beskrevet av Lewis (2011) i hans bok om selvorganisering.

I følge Lewis (2011) så har det kritiske punktet noen kjennetegn:

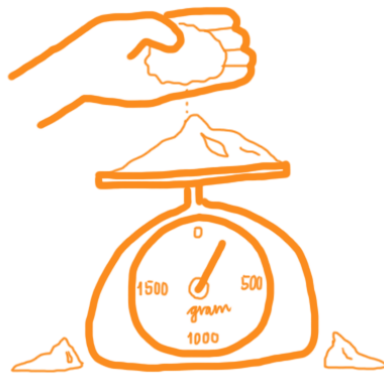
- Høy grad av sammenkobling mellom alle elementene i systemet
- Effektivisert i den form at systemet har liten pålitelighet
- Noen elementer som er svært sammenkoblet med mange andre elementer som knutepunkter

Disse kjennetegnene gjør systemet sårbart og selv den minste forandring kan føre til hendelser med store konsekvenser, men også mindre alvorlige hendelser kan inntreffe.

### 2.5.3 Baks sandhaug

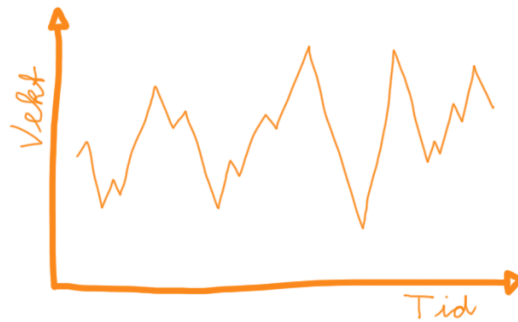
Bak, Tang og Wiesenfeld (1987) forklarte selvorganisering som en sandhaug. Denne sandhaugen får kontinuerlig påfyll i form av at det renner sand ned på den. Når sandhaugen bygger seg opp så vil det underveis forekomme sandskred. Newtons andre lov kan brukes til å forklare hvorfor sandskredene inntreffer, men det er ingen som kan forutsi når disse

sandskredene vil inntreffe eller hvor store de vil være. Bak simulerte sandskred ved hjelp av programvare og fremstilte så sandskredene grafisk med tanke på hvor ofte de inntraff og hvor store sandskredene som inntraff var. Han oppdaget at det skapte en rett linje på et dobbelt logaritmepapir. Noen svært få sandskred var ekstremt store, de fleste var av liten størrelse og noen moderate. Et ekstremt stort sandskred kan kalles uakseptabelt og dermed defineres som en hendelse som gjør systemet kritisk. I en sandhaug vil et ekstremt stort sandskred forårsake store forandringer av sandhaugen og selv om det ikke vil nødvendigvis vil føre til store konsekvenser i seg selv så kan det tenke seg at sandhaugen kun er et enkelt eksempel for å illustrere andre komplekse systemer. Store forandringer i andre komplekse systemer kan føre til tap av liv, vesentlige verdier eller miljø. Systemet kan da kalles kritisk slik kritisk er definert i avsnitt 2.3.3. Bak, Tang og Wiesenfield (1987) studerte flere komplekse systemer. Figur 7 viser en manuell måte å registrere sandskred som inntreffer i en sandhaug. Figur 8 viser hvordan vekten til sandhaugen kan registreres i forhold til tiden for å ha en måte å fremstille sandskred som inntreffer sandhaugen på. Baks, Tang og Wiesenfield sin definisjon på et komplekst system er et åpent system som ikke er i likevekt og med det menes det at system er påvirket av miljøet rundt det og at systemet er dynamisk. De oppdaget at ulike komplekse systemer viste lik oppførsel og konkluderte med at selvorganisering driver systemene mot det selvorganiserende kritiske punktet. Bak, Tang og Wiesenfield kom med et forslag om at de hadde oppdaget en enkel modell for kompleksitet i naturen. Aktiviteten i komplekse systemer viste seg å følge Zipfs lov.



**Figur 7: Vekten av sandhaugen kan fortelle hvordan sandhaugen påvirkes av sandskred over tid**

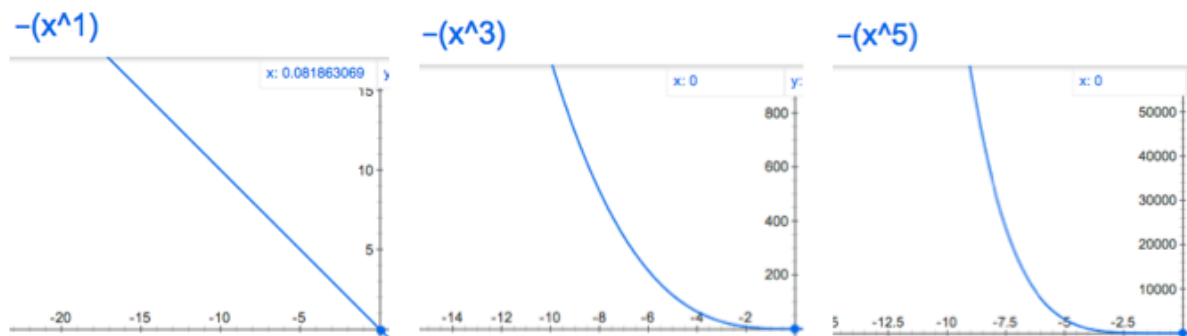




Figur 8: Vekten kan så fremstilles i forhold til tiden

#### 2.5.4 Potensfunksjoner

Lewis (2011) har sett på flere typer komplekse systemer og mener generelt at hendelser som inntreffer i komplekse systemer kan fremstilles grafisk med hjelp av potenser, som en potensfunksjon. Zipfs lov er en kjent potensfunksjon som ofte settes i sammenheng med komplekse systemer og forklares nedenfor. En potensfunksjon kan beskrive sammenhengen mellom to variabler, hvor den ene variabelen varierer med en potens i forhold til den andre. Når man fremstiller hendelser som kan inntreffe så gir dette en graf med avtakende sannsynlighet for at hendelser med store konsekvenser skal inntreffe. Det er graden til potensen som bestemmer hvor bratt grafen avtar og høyere grad vil føre til at hendelser med store konsekvenser vil inntreffe sjeldnere enn i grafer med lavere potens.



Figur 9: fremstilling av førstegrad, tredjegrad og femtegradspotensfunksjon

Konsekvensskalaen i grafen kan representere mange ulike situasjoner, som for eksempel strømbrudd, snøskred, terrorangrep eller tsunamier. Konsekvensene ligger på x-skalaen, hvor små konsekvenser ligger til venstre og store konsekvenser til høyre. Forventningen av hvor ofte en konsekvens vil inntreffe ligger på y-aksen, hvor høy y-verdi gir høy forventning og lav y-verdi gir lav forventning.

Fordi aktiviteten i komplekse systemer viser seg å følge en potensfunksjon så har potensfunksjoner noen egenskaper som man da kan overføre til komplekse systemer. Lewis (2011) har blant annet tatt utgangspunkt i at potensfunksjoner kan skaleres for argumentere for at man kan observere lik adferd i ulike komplekse systemer. Har man funksjonen  $f(x) = ax^k$  og endrer  $a$  så vil det føre til at funksjonen skaleres proporsjonalt. Denne sammenhengen gjør det mulig å fremstille en potensfunksjon som en rett linje på et dobbelt logaritmepapir.

Det at en potensfunksjon kan være lik en annen bare skalert i forhold til hverandre gir opphav til teorier om at det er samme dynamikk som driver systemene til den oppførselen som de har.

Det er foreslått at systemer som rammes av hendelser forårsaket av dominosvikt viser seg som en potensfunksjon når hendelsene fremstilles grafisk (Dobson et al, 2007). Dominosvikt kan skape en ekstrem hendelse og om denne hendelsen ikke var med i risikovurderingen eller vurdert til å ha neglisjerbar sannsynlighet for å inntreffe så vil hendelsen karakteriseres som en sort svane. Dette har fått Lewis (2011) til å komme frem til at systemer hvor tidligere hendelser viser seg som en potensfunksjon når de fremstilles grafisk vil kreve regulering for å minke risikoen for å igjen rammes av en dominosvikt.

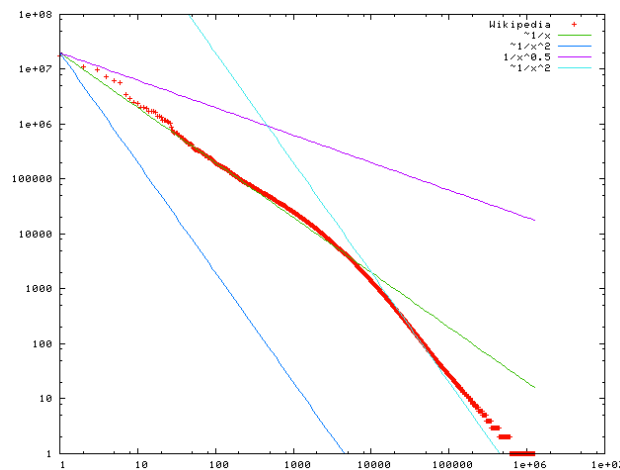
Dominosvikt er forårsaket av helhetlig oppbygning av systemet og hvordan hele systemet endrer seg over tid. Zipf har forsøkt å forklare dynamikken til komplekse systemer som er utsatt for selvorganisering.

### 2.5.5 Zipfs lov

Zipfs lov, som er en lov basert på en potensfunksjon gjelder for mange typer data fra fysiske eller samfunnsrelaterte systemer og går ut på at dataene følger en Zipfiansk fordeling. Med det menes at antall ganger en hendelse inntreffer rangert etter popularitet følger en rett linje på dobbelt logaritmepapir, den følger grafen til en potensfunksjon (Zipf, 1949).

For eksempel så gjelder det for de aller fleste språk at frekvensen til et hvilket som helst ord er inverst proporsjonelt med rangeringen av ordet etter popularitet. I boka "Brown Corpus" som er en samling engelske tekster og som inneholder rundt en million ord så er ordet "the" det mest brukte ordet. "The" står for nesten 7% av ordene som brukes. Ordet "of" er det nest mest brukte ordet og står for omtrent 3,5% av ordene som brukes (Fagan S, Gençay R, 2010). Figur 11 viser frekvensen av engelske ord som brukes på Wikipedia. I starten følger fordelingen omtrent grafen til  $1/x$ , mens den i slutten følger grafen til  $1/x^2$ . Det eksisterer

flere ulike teorier på hvorfor flere ulike språk har omtrent lik frekvensfordeling, hvor det n-te populære ordet brukes  $1/n$  ganger av det mest populære ordet. Zipf selv har foreslått at det kan være fordi hverken de som snakker eller de som lytter ønsker å bruke mer ord enn nødvendig for å få frem budskapet (Zipf, 1949). Med andre ord så kan man si at språket skal være så effektivt som mulig og dette kan forklares med prinsippet om minst mulig anstrengelse.



**Figur 10: Den røde linjen viser frekvensen av engelske ord som brukes på Wikipedia arrangert på et dobbelt logaritmeblad.**

### 2.5.6 Prinsippet om minst mulig anstrengelse

Prinsippet om at ingen ønsker å bruke mer ord enn nødvendig har Zipf kalt prinsippet om minst mulig anstrengelse eller opprinnelig kalt "principle of least effort" og informasjonen om dette prinsippet er hentet fra hans bok (Zipf, 1949). Prinsippet går ut på at blant annet dyr, mennesker og til og med godt designede maskiner vil velge den veien som gir minst mulig motstand eller anstrengelse. Han mener at det ligger i menneskets natur at man ønsker størst mulig utbytte med minst mulig anstrengelse. Zipf så at brukbar adferd ble gjennomført ofte og at den adferden som ble gjennomført ofte er lettere og raskere å gjennomføre. Derfor blir den oftere valgt selv om det hverken er det smarteste eller mest logiske valget. Zipfs prinsipp brukes også om avstander. Det krever minst anstrengelse å gjennomføre adferd på nære alternativer og ofte velges derfor disse. For eksempel om en morder skal kvitte seg med et lik og har noen gjemmesteder å velge i mellom så vil morderen ha en tendens til å velge det stedet som er nærmest hjemmet sitt. Det krever minst mulig anstrengelse å dumpe liket på det stedet som er nærmest i avstand. Denne informasjonen brukes i etterforskninger, når man finner lik så vil man starte med å lete etter morderen i nærområdet. Det krever også lite anstrengelse å velge en taktikk som tidligere har ført til suksess selv om man vet at

omstendighetene har forandret seg fra den tidligere suksessen. Dette har man sett i en studie på hvordan mennesker spiller stein, saks og papir (Wang, Xu og Zhou, 2014). Studien foreslår at beslutningstaking under usikkerhet baserer seg på taktikken om å gjenta adferd som gir suksess og å bytte ut adferd som svikter. Dette gjelder også til tross for at man vet at omstendighetene har forandret seg. Kjenner man til kunnskapen om denne adferden og spiller stein, saks og papir så kan man utnytte denne informasjonen til å forøke å vinne. Slik kan man tenke seg at det også er for komplekse systemer. Kjenner man til dynamikken til komplekse systemer utsatt for selvorganisering kan man forsøke å påvirke risikoen for sorte svaner. Zipf (1949) foreslår at dynamikken til komplekse systemer påvirket av selvorganisering vil følge minste motstands vei. Lewis (2011) mener ut i fra denne påstanden at komplekse systemer utsatt for selvorganisering vil organisere seg på en kritisk måte og systemet vil havne på det selvorganiserende kritiske punktet fordi her er systemet effektivisert slik at det har gått på bekostning av robustheten eller resiliensen til systemet.

#### 2.5.7 Regulering og selvorganisering

Dette avsnittet tar for seg noen av utfordringene med å regulere et komplekst system. Det er flere grunner til at det kan være en utfordring. Man har manglende kunnskap om systemet som kan gjøre at man ikke vet hva som skal til for å regulere systemet. Det er også minst en kompleks egenskap i et komplekst system og dette kan føre til at reguleringen får ikke forventede følger.

For eksempel så er boligmarkedet i Norge et eksempel på et komplekst system som reguleres. Boligmarkedet er komplekst siden det er mange ulike kompliserte faktorer som påvirker systemet både internt og eksternt og fordi man ikke har kunnskap om den fulle dynamikken til systemet. Siden tidlig 90-tallet så har prisen på boliger i Norge steget med unntak av en liten nedgang i prisen i forbindelse med finanskrisen i 2008 (Boligprisstatistikk, 2014). Bankene har i samme periode gitt ut stadig mer penger i lån, men finanstilsynet frykter konsekvensene av hva som kan skje om den finansielle situasjonen i Norge skulle endre seg og befolkningen skulle komme i en situasjon hvor de ikke var i stand til å betjene gjelden sin. Finanstilsynet kom i den forbindelse opp med et krav om 15 % egenkapital for å få lån i desember 2011 (Baltersen og Iversen, 2014). Dette har påvirket boligmarkedet og ført til en organisering av systemet. Etter kravet har blant annet prisen på små leiligheter steget voldsomt (Rosa og Horjen, 2012). Reguleringen av boligmarkedet har fått konsekvenser man gjerne kunne vært foruten slik som at prisen på små leiligheter steg voldsomt, men

reguleringen førte allikevel til at boligmarkedet kan å unngå det kritiske punktet med å selektere lånetakerne sine.

Hele verden er stadig under forandring og både ønskede og uønskede hendelser driver dynamikken i verden vi lever i. Det er lettere å tilpasse seg mindre konsekvenser enn ekstreme konsekvenser som en sort svane fører med seg. Ekstreme konsekvenser kan gjøre systemet ugjenkjennelig og derfor ønsker man å unngå sorte svaner. Teorien om selvorganisering og det selvorganiserende kritiske punktet er en teori som forsøker å vise sammenhengen selvorganisering og sorte svaner. Selvorganisering oppstår i større grad i lite regulerte systemer og lite eller feil regulering kan komme av manglende kunnskap.

Når man regulerer komplekse systemer for å minke risikoen for sorte svaner så kan det være at man må tenke annerledes enn man gjør med risikostyring som skal hindre uønskede hendelser å inntreffe. Det er vanlig å forsøke å unngå at en uønsket hendelse skal inntreffe, men i et komplekst system kan det hende man må regulere med tanke på å minke konsekvensene av uønskede hendelser og ikke for å unngå uønskede hendelser. Det er fordi en regulering som vil minke konsekvensene av en hendelse kan føre til at en hendelse som kunne kommet med ekstreme konsekvenser og ha muligheten til å være en sort svane ikke får like store følger. Komplekse systemer har potensialet til å eskalere konsekvenser av uønskede hendelser. Inntreffer mindre uønskede hendelser i et komplekst system så kan disse bryte opp koblinger mellom elementer og føre til færre eskalerende egenskapene. Skogbranneksempelen kan brukes også i denne situasjonen for å forklare hvordan man kan regulere et system med tanke på å forsøke å unngå sorte svaner.

Ønsker man å unngå skogbranner så kan man sette opp lynavledere eller vanne skogen slik at skogbranner ikke starter så lett. Dette kan føre til at det starter å brenne mye sjeldnere og at skogen får vokse lenge og uavbrutt helt til et lyn en dag treffer et tre på en tørr nok dag og det starter å brenne. Nå er skogen så tett og fyldig at en stor og massiv skogbrann som ikke er lett å slukke utarter seg. Konsekvensene er store og hele skogen brenner ned. Hadde man derimot forsøkt å regulere systemet med tanke på å unngå store konsekvenser så kunne scenarioet vært annerledes. En måte å minke eskalering av en hendelse på kan være med å aktivt gå inn i skogen å hugge ned trær slik at skogen blir luftigere og avgrenset. Starter det å brenne et sted nå så vil kun en liten del av skogen brenne ned og konsekvensene vil ikke være så store.

Her er det viktig med informasjon slik at man kan se hvordan mulige reguleringer vil påvirke systemet.

Det er ikke mulig å unngå alle uønskede hendelser, men i et komplekst system så kan man vurdere de generelle egenskapene som påvirker komplekse systemet og forsøke å regulere dynamikken til systemet slik at en hendelse ikke får like stor mulighet til å eskalere. Det er mulig å dra nytte av uønskede hendelser, de vil nemlig stresse systemet slik at systemet tilpasser seg miljøet på en bedre måte. Alle systemer bør være i endring for å best mulig tilpasse seg miljøet og effektivisering innad i systemet. Men selv om et system er i konstant endring så er det ønskelig å unngå sorte svaner, da de kommer med ekstreme konsekvenser. Dominosvikt er en annen type hendelse som kommer med ekstreme konsekvenser og er derfor relevant i sammenheng med sorte svaner.

## 2.6 Dominosvikt

Dominosvikt også kalt dominofeil eller kaskadefeil (cascading failure) er gjerne den type uønsket hendelse innenfor komplekse systemer som har størst sammenheng til sorte svaner. Lewis (2011) nevner dominosvikt som en viktig faktor i sammenhengen mellom sorte svaner og komplekse systemer. En dominosvikt kommer av at en hendelse kan eskalere på grunn av egenskaper i systemet som skaper sammenhenger mellom elementene. Svikt i et element fører til svikt i et annet som igjen fører til at et nytt element svikter og slik kan det fortsette til i verste fall hele systemet svikter. Denne effekten kan komme av sammenkoblingen mellom elementene i systemet.

De komplekse egenskapene påvirker hvordan en hendelse kan utarte seg i et komplekst system. Siden et komplekst system kan inneholde store mengder informasjon så gjør dette det vanskelig å få oversikt over hvordan uønskede hendelser kan påvirke systemet. Perrow (1999) snakker blant annet om skjulte feil i forbindelse med kompleksitet. En skjult feil er enkelt og greit en feil som kommer av sammenhenger som man ikke har kunnskap om. Skjulte feil oppstår lettere når man gjør delvise endringer i et komplekst system og dermed ikke har oversikt over hele bildet. Et eksempel på en skjult feil kan være at man gjør en endring i elektronikken i et romfartøy. Endringen går ut på å bytte ut en transformator som kan tåle større påkjenninger og transformatoren ligger ved siden av en av romfartøyets datamaskiner. Denne datamaskinen har som oppgave å tolke signaler som gis til romfartøyet for å styre tilførselen av drivstoff til motoren. Datamaskinen er tilstede for å hindre menneskelige feil og kan regulere hvor mye drivstoff som trengs. Ved oppskytning av romfartøyet avgir den nye transformatoren mer varme enn den tidligere og dette slår ut datamaskinen som ligger ved siden av transformatoren. Som en følge av dette får ikke motoren drivstoff og romfartøyet faller ned mot jorden igjen. Her var fokuset på

transformatoren ved endringen og hadde man fokusert på hele systemet så hadde man oppdaget at datamaskinen like i nærheten har svakheter som transformatoren ville kunne påvirke.

Det kan eksistere mange slike skjulte feil i komplekse systemer fordi man ikke har kunnskap om alle sammenhengene i et komplekst system. Derfor kan man ofte oppleve sammenhenger som ikke er lineære. Slik som for eksempel at en endring i DNAet enten kan føre til ingen endring i oppbygningen av celler eller at endringen fører til kreftceller. Har man lineære sammenhenger så vil effekten være proporsjonell med aktiviteten. Hvor en stor aktivitet vil gi stor effekt og en liten aktivitet vil gi liten effekt. Dominosvikt er et eksempel på en ikke lineær hendelse.

Det er gjerne lettest å tenke seg at det kan oppstå dominosvikt i et komplekst strømnnett. I strømnettet er det tydelig at en feil kan føre til overspenning i deler av systemet som igjen fører til at andre deler av systemet opplever overspenning og feiler. Det er viktig å vite at dominosvikt er noe som kan oppstå i mange typer komplekse systemer. For eksempel i et biologisk system så kan man få en dominosvikt om en art dør ut. Dør krillen i havet ut så vil dette trolig føre til store konsekvenser videre i økosystemet slik som at mange typer hvaler, sel og pingvin for eksempel kan dø ut fordi de baserer store deler av kosten sin på krill. Men også arter som ikke direkte lever av krill kan dø ut. Finnes det ingen krill så kan dette føre til en oppblomstring av plankton som igjen kanskje kan føre til biomasse av plankton som er så tykk at den stenger for sollys ned i havet til sjøplanter som er avhengig av sollys. Det kan være vanskelig å se for seg hvilke endringer en liten svikt i systemet kan føre til siden systemet er komplekst sammensatt og endringen kan komme som en direkte eller indirekte konsekvens. Finanskrisen i 2008 er et annet eksempel på en dominosvikt og denne rammet finansmarkedet.

Går man tilbake til fenomenet selvorganisering så handler det om at system organiserer seg selv fordi det er fordelaktiv for systemet og ofte et resultat av positive tilbakemeldinger. Man kan si at systemet ønsker å være mer effektivt fordi det ønsker mest mulig utbytte i forhold til innsatsen. Et effektivt system i forhold til kostnad vil bruke minst mulig kostnader på ekstra kapasitet og alternativer i systemet og dermed ønske å ha en lav kapasitet og få alternativer tilgjengelig. Et effektivt system ønsker også at informasjon og andre elementer som skal utveksles mellom elementene i systemet skal ha kortest mulig reiserute. Dette fører til høy sammenkobling mellom elementene i systemet for da får man mange korte reiseruter.

Selvorganisering vil føre til økt risiko for dominosvikt og med å minke risikoen for dominosvikt så vil man minke graden systemet har organisert seg selv. Systemet kan bli mindre effektivt med tanke på korte reiseruter og lave kostnader, men risikoen for sorte svaner vil gå ned.

## 2.7 Informasjonsforedling

Dette avsnittet handler om informasjon og viktigheten av å fange opp, tolke og behandle riktig den informasjonen som er kritisk med tanke på å oppdage potensielle overraskelser.

Kunnskap er antagelser som er gjort basert på tilgjengelig informasjon og som forsøker å forutsi framtiden basert på at det ikke er noe i fortiden som motsir antagelsene man har gjort (Deming, 2000). Det er da en viss risiko for at kunnskapen er feil. Har man kunnskap om noe så betyr det at man har gjort seg opp en forståelse av informasjonen og at man kan bruke denne forståelsen til noe hensiktsmessig. Med ny informasjon så er det viktig å revidere kunnskapen sin slik at man kan få mer brukbare antagelser. Det er derfor viktig å være klar over at ny informasjon kan forandre antagelsene som tidligere er gjort. Med å være klar over dette så kan man forstå viktigheten av å fange opp informasjon. Kvalitetsledelse som Deming (2000) skriver om i sin bok handler blant annet om å søke informasjon kontinuerlig slik at man i størst mulig grad kan ha den kunnskapen som best beskriver situasjonen man er i. Dette vil minke potensialet for overraskelser.

Selvorganisering er et fenomen som oftere inntreffer i situasjoner med manglende kunnskap fordi det er vanskeligere å organisere system hvor man mangler kunnskap. Systemet vil da ha større tendens til å organisere seg selv for å oppnå mål som er gunstige for systemet (Lewis, 2011).

Ved å fremme kunnskapen så vil man kunne organisere systemet etter eget ønske og minke selvorganiseringen. Man vil også i større grad kunne avdekke potensielle overraskelser som kan føre til en minket risiko for sorte svaner.

Hvordan informasjonen prosesseres eller foredles er et perspektiv på hvorfor ulykker inntreffer. Perrow som ble kjent for sin teori om normale ulykker (avsnitt 2.3.4 "Normal accident theory") har også skrevet en nyere bok hvor han forsøker å forklare mer detaljert hvorfor ulykker inntreffer. Perrow (2011) skriver i sin nye bok at det er tre grunner til at ulykker inntreffer og de tre er naturlige ulykker, organisatoriske ulykker og bevisste ulykker.



Organisatoriske ulykker handler om hvordan informasjon foredles og formidles. Ulykker kan da oppstå i en prosess hvor informasjon er ukjent, avvist, feiltolket eller misforstått.

Å avvise, feiltolke eller misforstå informasjon kan komme av at man har forventninger til hva som vil skje og dermed velger å la sine forventninger komme i veien for å være mer tilstede i situasjonen og dermed fange opp den faktiske informasjonen. Utblåsningen av Macondobrønnen på Deepwater Horizon i 2010 er et eksempel på en ulykke som passer inn i kategorien organisatorisk ulykke og informasjon om denne er hentet fra Deep Water (2011). Denne ulykken hadde mye informasjon underveis i arbeidet med brønnen som varslet om potensielle uønskede hendelser. Disse ble oversett fordi man forventet at det ville gå bra tilslutt. Konklusjonen om hvorfor ulykken inntraff var at ulykken kom som følge av organisatorisk svikt.

“But, who cares, it’s done, end of story, [we] will probably be fine and we’ll get a good cement job.”

- Epost fra BP ingeniør Brett Ccales.

Eposten fra BP ingeniør Brett Ccales som handlet om noen avgjørelser om Macondobrønnen oppsummerer holdningen BP hadde til brønnjobben. BP forventet at jobben ville gå bra til tross for at det var usikkerhet om brønnjobben ble sikkert nok utført. Det viste seg at jobben med Macondobrønnen førte til en ulykke med ekstreme konsekvenser.

Ukjent informasjon kan komme av manglende søk etter informasjon eller store mengder informasjon tilgjengelig. I komplekse systemer er det store mengder med informasjon og det er ikke nødvendigvis lett å skille ut den informasjonen som er kritisk med tanke på å oppdage potensielle overraskelser. Bak (1999) skriver i sin bok om en sandhaug som er et godt eksempel på et kompleks system hvor du er nødt å kjenne alle sammenhengene mellom sandkornene for å kunne forutsi hva som vil kunne skje. Det er ikke lett å peke ut hvilke sandkorn som er kritiske fordi det er vanskelig å vite hvilken informasjon som er vesentlig med mye informasjon tilgjengelig.

Ukjent eller feilvurdert informasjon skaper et potensial for sorte svaner. Aven (2013b) har kategorisert sorte svaner i tre kategorier som er listet i avsnitt 2.2 Definisjoner av sorte svaner. Disse innebærer ukjent eller feilvurdert informasjon slik at hendelsen kommer som en overraskelse og i tillegg med ekstreme konsekvenser.

Aven og Krohn (2014) konkluderer i sin artikkel med at risikoen for sorte svaner vil være mindre om man bruker perspektivet på risiko som de presenterer i sin artikkel i en usikker situasjon. Dette perspektivet er presentert i avsnitt 2.1.3 Nytt perspektiv på hvordan å forstå, vurdere og styre risiko. Dette perspektivet handler blant annet om en kollektiv tilstedeværelse (collective mindfulness). Kollektiv tilstedeværelse fremmer søk etter informasjon og kan også minke risikoen for misforståelser fordi man ikke lar sine forventninger overskygge den faktiske informasjonen.

### 3. Utviklingen av rammeverket

Dette kapitlet vil diskutere sammenhengen mellom kompleksitet, kunnskap, selvorganisering og sorte svaner. Både Lewis (2011) og Koubatis og Shönberger (2005) foreslår at det er en sammenheng mellom økningen i antall komplekse systemer og økningen i sorte svaner som har inntruffet.

Et komplekst system er definert ut i fra at det er påvirket av komplekse egenskaper og at det eksisterer manglende kunnskap om systemet; jf, 2.4. Begge disse faktorene gjør komplekse systemer utsatt for selvorganisering, fordi den manglende kunnskapen gjør det vanskelig å styre systemet og fordi systemets komplekse egenskaper slik som positive tilbakemeldingssløyer påvirker systemet til en organisering innad i systemet.

Selvorganisering er spontan og oppstår i følge Zipf (1949) fordi systemer; både naturlige og designede ønsker å operere på en måte som gir mest mulig utbytte i forhold til anstrengelsen.

Komplekse egenskaper gjør at dynamikken til komplekse systemer kan oppføre seg annerledes enn hva man kan forvente av en situasjon kun preget av usikkerhet.

Derfor vil denne oppgaven utvikle et rammeverk som skal være med på å fremme kunnskapen om komplekse systemer og sammenhengen til sorte svaner.

#### 3.1 Kompleksitet og usikkerhet

Kompleksitet gir en situasjon med usikkerhet slik denne oppgaven har definert kompleksitet. I arbeidet med å utvikle et rammeverk for komplekse systemer så vil det diskuteres hvorfor det er en fordel å definere en forskjell på komplekse og usikre situasjoner.

Aven og Renn (2010) mener at man kan behandle komplekse situasjoner som usikre situasjoner. Kompleksitet blir i denne oppgaven referert til som et spesielt tilfelle av usikkerhet hvor man har komplekse egenskaper i tillegg til manglende kunnskap. Aven (2013a) har delt usikkerhet opp i lav usikkerhet, moderat usikkerhet og dyp usikkerhet. Inndelingen er basert på hvilken kunnskap man har. I følge Aven (2013b) sin definisjon på sorte svaner så er også denne basert på hvilken kunnskap man har og han har kategorisert sorte svaner i tre kategorier listet i avsnitt 2.4.2. Aven (2013a) mener det ikke er relevant å snakke om sorte svaner i situasjoner med lav usikkerhet fordi man har sterk kunnskap, noe som gjør at man har oversikt over risikoen. Det er heller ikke særlig relevant å snakke om sorte svaner i forhold til dyp usikkerhet siden man har svak kunnskap og lite oversikt over

risikoen, noe som gjør at man forventer overraskelser. Men selv med dyp usikkerhet så er det ikke mulig å forvente en ukjent ukjent, som vil si en helt ny type hendelse som kan inntreffe. Derfor vil en ukjent ukjent kunne være en sort svane i situasjoner med dyp usikkerhet, men disse er svært sjeldne. Har man en situasjon med moderat usikkerhet så kan alle kategorier av sorte svaner inntreffe. Tabell 3 viser en oversikt over de ulike kategoriene av usikkerhet og hvordan de kan rammes av sorte svaner.

**Tabell 3: Kategorisering av usikkerhet i følge Aven (2013a)**

Lav usikkerhet	Moderat usikkerhet	Dyp usikkerhet
Sterk kunnskap	Noen dominerende oppfatninger og forklaringer	Svak kunnskap
Ingen sorte svaner kan inntreffe	Alle kategorier av sorte svaner kan inntreffe	Kun ukjent ukjent type sort svane er relevant.

En situasjon kan for eksempel starte som en situasjon med dyp usikkerhet for så å flytte seg mot moderat eller lav etter hvert som kunnskapen øker.

En kompleks situasjon er en situasjon med moderat usikkerhet. Man mangler kunnskap mellom aktivitet og effekt og derfor har man ikke full oversikt over dynamikken til systemet. En kompleks situasjon vil derfor være et spesielt tilfelle av usikkerhet.

Et kompleks system kan ha en rekke av ulike komplekse egenskaper som i følge Bak (1999) gjør komplekse systemer utsatt for selvorganisering. Dette skaper en annen problemstilling enn ved kun en usikker situasjon. Det gjør at et komplekst system utsetter seg for sorte svaner på en annen måte.

I en usikker situasjon er det svært vanlig å prioritere å unngå uønskede hendelser fremfor å forsøke å minke konsekvensene av hendelser som kan inntreffe (NORSOK Z-013, 2001). Spesielt gjelder dette for offshoreindustrien hvor man i utgangspunktet ikke ønsker at uønskede hendelser skal oppstå for konsekvensene kan bli større på en offshoreinstallasjon enn på land. For eksempel så er det ønskelig å unngå en brann offshore for der er evakueringsmulighetene mer begrenset enn de ville vært på land. I en kompleks situasjon kan det noen ganger lønne seg å tenke annerledes. Lewis (2011) mener at uønskede hendelser vil inntreffe uansett tiltak i en kompleks situasjon og at derfor kan være lurt å forsøke å minke konsekvensene av hendelser som kan inntreffe for å minke risikoen for sorte svaner. Lewis

forslår at man må vurdere å forsøke å minke konsekvensene som kan oppstå fremfor å forsøke å unngå hendelsen. Et eksempel på dette presenteres i avsnitt 2.5.7 Regulering og selvorganisering. Å skille mellom en usikker og en kompleks situasjon kan være med å fremme fordelene av å foreta en risikovurdering i en kompleks situasjon som tar hensyn til flere kriterier som kan påvirke en kompleks situasjon og risikoen for sorte svaner. Disse kriteriene vil komme frem i denne oppgavens rammeverk.

### 3.2 Kompleksitet og sorte svaner

Sorte svaner er et relativt nytt begrep som det eksisterer ulike definisjoner på, hvor flere er nevnt i avsnitt 2.2.

Paté-Cornell (2012) mener at sorte svaner ofte er en dårlig unnskyldning etter en svak risikovurdering. Hun ser nemlig på sorte svaner som svært sjeldne hendelser fordi hun mener en sort svane er en ukjent ukjent. Etter denne definisjonen så er det også svært få sorte svaner som har inntruffet og et av få eksempler er HIV viruset som forårsaket AIDS epidemien. Men sorte svaner er et nyttig begrep når det settes i sammenheng med hvilken kunnskap man har. Det er her Aven (2013b) sine tre kategorier av sorte svaner beskriver et behov for å dele inn ulike situasjoner hvor ekstreme og overraskende hendelser kan oppstå. Derfor er det også Aven sine kategorier som vil bli brukt videre i diskusjonen. Disse tre kategoriene er hentet fra avsnitt 2.2 og gjentas her.

Aven sine tre kategorier av sorte svaner:

- a. En ukjent ukjent, det vil si at det er noe man ikke vet at man ikke vet.
- b. En kjent ukjent, det vil si en hendelse som ikke er med i risikovurderingen på grunn av manglende kunnskap.
- c. En hendelse hvor sannsynligheten for at den skal inntreffe er vurdert som neglisjerbar og dermed ikke oppfattet som mulig.

Kompleksitet er situasjoner med manglende kunnskap mellom aktivitet og effekt og derfor vil den mest aktuelle kategorien av sorte svaner i sammenheng med kompleksitet være kategori b. Man mangler kunnskap om systemet og derfor er ikke hendelsen en del av risikovurderingen. Enten fordi man ikke kjenner til hendelsen eller fordi man ikke kjenner til dynamikken til hele systemet som kan eskalere en kjent hendelse. Dominosvikt er en av scenarioene som komplekse systemer er utsatt for som kan eskalere en hendelse.

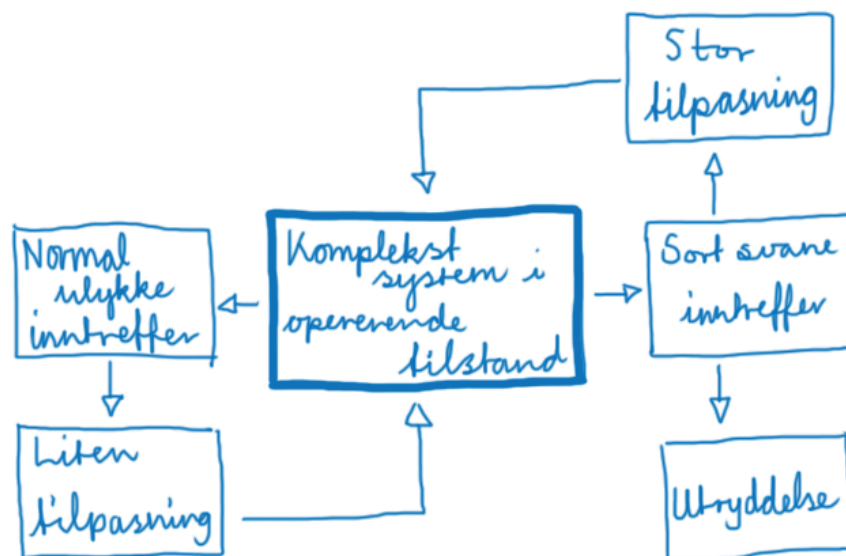
Lewis (2011) sin definisjon av en sort svane tar utgangspunkt i Taleb sin definisjon, men i tillegg oppsummerer Lewis en sort svane som en *ikke-lineær* ekstrem hendelse. Med dette kan man si at han mener at sorte svaner oppstår i komplekse systemer utsatt for selvorganisering. Han forklarer videre at det er det selvorganiserende kritiske punktet som i høyest grad utsetter komplekse systemer for sorte svaner.

Generelt kan man da si at det er to faktorer man kan endre for å gjøre systemer mindre sårbare for sorte svaner på. Man kan bruke informasjon riktig for å oppdage hvilke hendelser som kan inntreffe som en sort svane og dermed gjøre systemet mer robust. Avsnitt 2.7 Informasjonsforedling handler om hvordan informasjon kan foredles riktig. Den andre faktoren er at man kan forsøke å endre systemet slik at hendelser får mindre potensial til å eskalere, den generelle risikoen for sorte svaner går ned og systemet blir mer resilient.

Teorien om det selvorganiserende kritiske punktet foreslår at det finnes en universell dynamikk som selvorganisering i komplekse systemer fører til på grunn av prinsippet om minst mulig anstrengelse (Lewis, 2011).

Dette gjør at komplekse systemer kan ha lik oppførsel på grunn av noen generelle egenskaper som alle systemer utsatt for selvorganisering kan ha. Det selvorganiserende kritiske punktet har egenskaper som blant annet kan eskalere hendelser til å gi ekstreme konsekvenser. Innenfor komplekse systemer så snakkes det ofte om dominosvikt som skaper et potensial for sorte svaner. Dominosvikt er en hendelse med store konsekvenser som kan oppstå for eksempel på grunn av en liten kjent hendelse. Dominosvikten kan allikevel komme som en sort svane på grunn av ukjente egenskaper som eskalerer den lille hendelsen til å gi store konsekvenser. Ukjente egenskaper som kan ha muligheten til å eskalere kjente hendelser skaper dermed et potensial for sorte svaner innenfor kompleksitet. For å forsøke å avdekke slike sorte svaner så kan man fokusere på å skaffe seg informasjon om egenskapene komplekse systemer kan ha som kan komplisere hendelsesforløp til hendelser som kan inntreffe.

Lewis (2011) mener at et komplekst system vil tilpasse seg til å kunne operere med mest mulig utbytte i forhold til anstrengelsen sin ved å la seg korrigere av uønskede hendelser som inntreffer. Dette har han basert på Perrow (1999) sin teori om normale ulykker eller "normal accident theory" som presenteres i avsnitt 2.3.4.



Figur 11: Lewis (2011) sitt forslag til dynamikken til komplekse systemer.

Lewis mener at det er to typer hendelser som kan inntreffe i et komplekst system og det er normale ulykker og sorte svaner, se Figur 11. En sort svane har ekstreme konsekvenser, mens en normal ulykke har moderate eller små konsekvenser. Begge hendelsene er generelt forventet å inntreffe i komplekse systemer i følge Lewis (2011). Det er også grunnen til at Perrow (1999) har kalt teorien sin for teorien om normale ulykker og også han mener at slike ulykker må forventes i komplekse systemer. Perrow nevner ikke sorte svaner og det var heller ikke noe kjent begrep innenfor risikostyring da han skrev boken sin, men han mener at en normal ulykke kan ha både små og store konsekvenser.

Både Perrow (1999), Aven og Renn (2010) og Lewis (2011) mener at komplekse systemer har noen komplekse egenskaper som kan føre til manglende kunnskap om systemet og at det er de komplekse egenskapene som skiller en kompleks situasjon fra en usikker situasjon.

### 3.2.1 Komplekse egenskaper

Som nevnt i avsnitt 2.4.2 så er en kompleks egenskap en egenskap systemet kan ha som gjør dynamikken til systemet komplisert fordi egenskapen skaper et komplisert forhold mellom hvilke aktiviteter som gir hvilke effekter. Egenskapene skaper en situasjon med moderat usikkerhet. For at et system skal kunne klassifiseres som komplekst så må systemet minst ha en kompleks egenskap sammen med manglende kunnskap om systemet.

I avsnitt 2.4.2 har Aven og Renn (2010) og Perrow (1999) listet egenskaper de mener et komplekst system kan ha.

For å komme frem til et mest mulig helhetlig rammeverk over sammenhengene mellom kompleksitet og sorte svaner så vil en oversiktlig og universell liste over komplekse egenskaper være til god hjelp. Denne oppgaven vil derfor vurdere komplekse egenskaper som er listet i annen litteratur for å skape en mest mulig oversiktlig, universell og beskrivende samlet liste over komplekse egenskaper. Egenskaper er kjennemerker som et system kan ha.

Aven og Renn (2010) og Perrow (1999) kommer med spesifikke egenskaper de mener komplekse systemer kan ha. Disse er listet i avsnitt 2.4.2 og gjentas her i tabell 4 for å kunne vurderes om de kvalifiseres for å være en del av denne oppgavens liste over komplekse egenskaper.

For at en egenskap skal kvalifiseres for å havne på denne oppgavens liste over komplekse egenskaper så må egenskapen oppfylle følgende krav:

- Skape kompliserte sammenhenger mellom elementene i systemet
- Ha potensialet til å skape manglende kunnskap om sammenhengene mellom elementene i systemet
- Forklare hvordan egenskapen kan skape manglende kunnskap og kompliserte sammenhenger mellom elementene.

Denne oppgaven har definert et komplekst system som et system som minst har en kompleks egenskap. Alle de enkelte egenskapene må derfor i seg selv kunne føre til kompliserte forhold mellom elementene i systemet og kunne føre til manglende kunnskap om systemet. I tillegg så må egenskapen tilføre informasjon om hvorfor den fører til manglende kunnskap og kompliserte sammenhenger mellom elementene for å kunne bidra til arbeidet med rammeverket.

**Tabell 4: Egenskaper Aven og Renn (2010) og Perrow (1999) mener komplekse systemer har og vurdering om disse kvalifiserer for en universell liste over komplekse egenskaper.**

Egenskap	Kvalifisert	Begrunnelse
Forsinkelse mellom årsak og virkning	Ja	Forsinkelsen gjør det vanskelig å se sammenhengen mellom elementene og kan skape manglende kunnskap om systemet.
En positiv eller negativ tilbagemeldingssløyfe	Ja	Tilbakemeldingssløyfer kompliserer sammenhengen mellom elementene og kan



		skape manglende kunnskap om systemet.
Interindividuell variasjon	Ja	Man kan få variasjoner som gjør det vanskelig å gjøre de riktige antagelsene om systemet og som kan føre til manglende kunnskap.
Mellomliggende variabel	Ja	Det er en hypotetisk intern variabel som man bruker for å forklare sammenhengen mellom observerte variabler og vil komplisere informasjonen og kunne føre til manglende kunnskap.
Tett samlet utstyr	Nei	Gjelder kun spesifikt for systemer som har utstyr. Tett samlet utstyr kan komplisere et system, men ikke direkte føre til manglende kunnskap.
Mange komplekse interaksjoner	Ja	En interaksjon kommer av at forskjellige elementer påvirker hverandre og skaper kompliserte utfall. Dette kan skape manglende kunnskap.
Begrenset mulighet for isolasjon ved svikt	Nei	Er en følge av at et system er tett koblet og fører ikke til manglende kunnskap.
Subsystemer	Ja	Systemer i et system skaper et komplisert forhold mellom elementene og kan føre til manglende kunnskap om systemet.
Spesialisert personell	Nei	Fører ikke til manglende kunnskap.
Vanskelig å erstatte deler	Nei	Fører ikke til manglende kunnskap
Mange tilbakeføringssløyfer	Nei	Fordi positive eller negative tilbakemeldingssløyfer er et mer spesifikt punkt som dekker denne egenskapen.
Indirekte informasjonskanaler	Ja	Gjør det vanskelig å avdekke forholdene mellom elementene og kan derfor føre til manglende kunnskap.
Begrenset forståelse av prosessene	Nei	En følge av kompleksitet og ikke en årsak.

Det har også blitt lagt til et ekstra punkt på listen over generelle egenskaper nedenfor. Dette punktet er hentet fra hvordan komplekse systemer organiserer seg i forhold til Lewis (2011) og innebærer at elementene i systemet former nettverk. Dette punktet er med for å fremme sammenhengen mellom elementene i komplekse systemer, det er fordi et enkelt element kan påvirke hele systemet. Det komplekse nettverket kan brukes for å si noe om utsatte elementer i systemet og om systemet i sin helhet er satt sammen på en måte som øker den generelle risikoen for sorte svaner. For at nettverket skal i seg selv kunne klassifisere et system som komplekst så må det eksistere manglende kunnskap om alle eller kun noen av koblingene mellom elementene i nettverket.

Dette er de komplekse egenskapene som denne oppgaven mener et komplekst system kan ha:

- Forsinkelse mellom årsak og virkning
- En positiv eller negativ tilbakemeldingsløyfe
- Interindividuell variasjon
- Mellomliggende variabel (en hypotetisk intern tilstand som brukes til å forklare forholdet mellom observerte variabler).
- Subsystemer
- Indirekte informasjonskanaler
- Interaksjoner
- Elementene former nettverk

Manglende kunnskap er en viktig faktor for sorte svaner med tanke på at hendelsen kommer som en overraskelse i forhold til kunnskapen. Alle disse komplekse egenskapene som er listet kan skape manglende kunnskap. Men sorte svaner er også en hendelse med ekstreme konsekvenser og disse egenskapene trenger ikke nødvendigvis føre til ekstreme hendelser. DNA er et veldig godt eksempel på et komplekst system fordi det har komplekse egenskaper og det er begrenset kunnskap om DNA på mange områder. Nedenfor forklares egenskapene til komplekse systemer med mikrobiologi og DNA som eksempel. Informasjon om DNA er hentet fra Madigan et al. (2010) om ikke annet er nevnt. Det er også sett på sammenhengen egenskapen har til sorte svaner.

Egenskap	Eksempel	Sammenheng til sorte svaner
Forsinkelse	Fra det har skjedd en mutasjon i	Generelt så er det vanskelig å trekke

mellom årsak og virkning	DNAet så skal det igjennom en rekke biologiske prosesser, slik som koding av DNA til aminosyrer, sammensetting av aminosyrene til proteiner og så skal proteinene utføre sine spesifikke oppgaver i cellen før mutasjonen gjør seg gjeldende i en uønsket hendelse. For eksempel at proteinet gjør feil oppgave i cellen. Dermed har det skjedd en forsinkelse mellom årsaken og virkningen.	konklusjoner om hvilken årsak som gir hvilken virkning. En forsinkelse diskriminerer ikke mellom hendelser med store eller små konsekvenser. Om man har manglende kunnskap på grunn av denne egenskapen så vil det kun påvirke risikoen for uønskede hendelser generelt og ikke sorte svaner spesielt.
En positiv eller negativ tilbakemeldings sløyfe	Er E. coli tilstede i et miljø rikt på glukose og laktose så vil E. coli utnytte sukkermolekylene for å få energi. Glukose gir mest energi og dermed vil E. coli på grunn av en positiv tilbakemeldingssløyfe utnytte glukosen først. Så må E. coli tilpasse seg for å kunne utnytte laktosen med å produsere enzymet laktase.	Tilbakemeldingssløyfer kan føre til at systemet for eksempel utnytter kun en ressurs. Skulle denne ressursen ta slutt så må systemet tilpasse seg en ny ressurs. Systemet kan gjøre en liten endring eller bli tvungen til å gjøre en stor tilpasning. Klarer ikke systemet dette så kan systemet dø ut. Dette skaper et potensial for sorte svaner.
Interindividuell variasjon	Samme element kan reagere ulikt på samme påvirkning. DNA blir påvirket av hvilken temperatur det befinner seg i. Ved høyere temperaturer så vil hydrogenbindingene som binder sammen baseparene ikke klare å holde DNA-strengene sammen lenger og DNAet vil kunne åpne seg eller dele seg helt i to enkle strenger. Dette kan føre til at	Man har manglende informasjon om elementene og de kan ha små ulikheter som ikke oppfattes eller samme element kan være i ulikt miljø uten at det oppdages. Dette påvirker risikoen for uønskede hendelser generelt.

	<p>samme del av DNAet vil reagere ulikt med samme kjemikalie avhengig av for eksempel hvilken temperatur det er.</p>	
Mellomliggende variabel	<p>DNAet inneholder også sekvenser som ikke koder for proteiner og om kjemikaliet skulle reagere med denne delen av DNAet så vil ikke effekten oppdages fordi den ikke vil gjøre seg synlig i en endring i proteinsyntesen. Reagerer kjemikaliet med en del av DNAet som koder for en viktig oppgave i proteinsyntesen så kan dette føre til for eksempel kreft. Ikke alle røykere utvikler kreft.</p>	<p>I mellom aktiviteten og effekten så kan det være ulike variabler som kan påvirke hvilken effekt man får fra aktiviteten. Det kan være vanskelig å få kunnskap om denne variabelen og den kan føre til at en aktivitet gir ingen effekt, en proporsjonell effekt eller en ekstrem effekt. Dette skaper et potensial for en sort svane fordi man mangler kunnskap om variabelen og den kan føre til at en hendelse vurdert som liten gir ekstreme konsekvenser.</p>
Subsystemer	<p>Menneskekroppen er et komplekst system som består av celler som er egne komplekse systemer og som igjen består av DNA som er et eget komplekst system. Det gjør det vanskelig å se hva som forårsaker for eksempel kreft hos et menneske. En liten endring i DNAet kan skape ekstreme endringer hos mennesket.</p>	<p>Et komplekst system kan ha mindre komplekse subsystemer. Disse kan skape et komplisert nettverk mellom elementene i systemet og skape en risiko for dominosvikt. Som gir et potensial for sorte svaner.</p>
Indirekte informasjonskanaler	<p>Kreft er et tydelig tegn på at det har forekommet en endring i DNAet. Kreft observeres i en annen dimensjon enn endringen fant sted. Dette skaper stor usikkerhet rundt hvilke faktorer som har påvirket DNAet og hvordan det har ført til</p>	<p>Informasjon viser seg ikke direkte og må gå igjennom mellomledd. Dette gjør det vanskelig å få kunnskap om systemet. Dette vil indirekte påvirke risikoen for sorte svaner fordi det er vanskelig å få kunnskapen om systemet som kan</p>

	<p>kreft. Når kreften gir seg synlig i en annen dimensjon enn endringen har skjedd på så har informasjonen om endringen vært innom flere elementer før den er synlig for mottakeren. Hvordan informasjonen uttrykker seg kan derfor ha endret seg og det skaper usikkerhet om hva informasjonen uttrykker.</p>	<p>fortelle noe om risikoen for sorte svaner. Men egenskapen i seg selv skaper ikke ekstreme konsekvenser.</p>
Interaksjoner	<p>En interaksjon er i følge store norske leksikon en samhandling, at to faktorer eller fenomener påvirker hverandre. For eksempel så kan i følge store norske leksikon røyking og asbest sammen gjøre at risikoen for lungekreft blir mange ganger høyere og ikke kun dobbelt så høy som ved enten røyking eller asbest alene.</p>	<p>Dette skaper et potensial for en sort svane fordi to enkelte fenomener i seg selv ville gitt mindre hendelser, men inntreffer disse fenomenene sammen så gir de plutselig en hendelse med ekstreme konsekvenser i forhold til de to enkelthendelsene multiplisert.</p>
Elementene former nettverk	<p>I et nettverk kan for eksempel et enkelt element påvirke systemet i sin helhet. Nettverket kan grovt ha høy eller lav grad av sammenkobling mellom elementene. Høy grad øker risikoen for at et element kan påvirke mange andre elementer i systemet. Celler i menneskekroppen består av mange elementer som virker sammen med høy sammenkobling, feiler et element så er det mulig at hele cellen dør. Dette er som oftest ikke</p>	<p>Et sammenkoblet nettverk kan eskalere en hendelse og føre til dominosvikt. Høy grad av sammenkobling øker konsekvensene ved en dominosvikt. Dominosvikt skaper potensial for en sort svane.</p>

	noe problem i menneskekroppen hvor celler hele tiden erstattes.	
--	--	--

Generelt er det mulig å si at egenskapene gjør det vanskelig å få informasjon om det komplekse systemet og at noen egenskaper har potensialet til å skape store konsekvenser. Disse to faktorene skaper en risiko for at en generell sort svane skal inntreffe uten å si noe om hvilken hendelse den sorte svanen ville tatt form som.

### 3.3 Selvorganisering og sorte svaner

Et enkelt eksempel på hvordan selvorganisering kan føre til sorte svaner er et system som utnytter en ressurs. Ressursen gir et godt utbytte i forhold til innsatsen som systemet har. Dette gjør at systemet opplever positive tilbakemeldingssløyer som gir tilbakemeldinger til systemet at det systemet holder på med er fordelaktig og at systemet ikke trenger å benytte seg av andre ressurser for denne gir best utbytte. Derfor fortsetter systemet med denne utnyttelsen helt til ressursen tar slutt. Fordi systemet var så effektivisert at det kun utnyttet denne ene ressursen så kommer det som en uønsket hendelse at ressursen tar slutt og konsekvensene blir store fordi systemet er spesialisert til å kun utnytte den ene ressursen som ikke lenger er mulig å utnytte. Dette skaper et potensial for sorte svaner fordi systemet kan kjøre seg selv utfør en klippe som ikke nødvendigvis er synlig slik Figur 12 viser med en bil som eksempel. Dette komplekse systemet ble ikke styrt og det ble ikke søkt etter noe informasjon om ressursen som ble utnyttet og systemet benyttet seg heller ikke av noen tilleggsressurser. Disse forslagene ville bidratt til mindre konsekvenser for systemet om ressursen tok slutt og søk etter informasjon ville kunne ført til kunnskap om systemet og hindret potensielle overraskelser. Dette stemmer overens med hva Deming (2000) mener vil skje med et system som ikke ledes. Han mener at om systemer ikke blir ledet på riktig måte så vil systemet feile. Deming foreslår å lede systemer med kvalitetsledelse for å sikre at systemene når målene sine. Strømnettet er et komplekst system som har forsøkt å få ned forekomsten av store strømbrydd.



Figur 12: Bil manglet oversikt over underlaget og kjørte av veien.

### 3.3.1 Det komplekse strømmettet

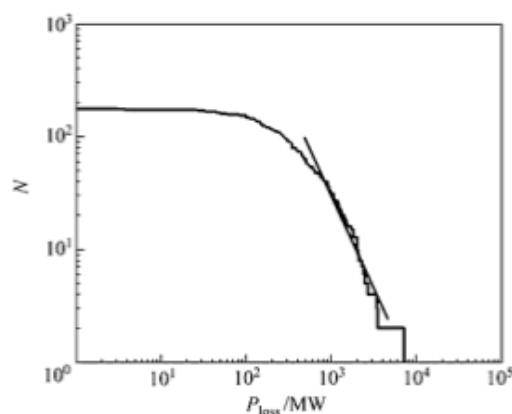
Boka "Power grid complexity" (Mei et al. 2006) handler om hvordan man kan risikovurdere et strømmnett og forklarer hvorfor kompleksitet har en sammenheng med sorte svaner. Neste avsnitt som går over to sider har hentet informasjon fra denne boken og vil være et utgangspunkt for utarbeidingen med rammeverket.

Moderne strømforsyningssystemer blir ofte sett på som ett av de mest komplekse industrielle systemene som finnes og når man forsøker å beskrive risikobildet til et strømforsyningssystem så starter man ofte med de individuelle elektriske elementene som strømmettet består av eller mindre undersystemer i strømmettet. Informasjonen man henter ut fra slike analyser brukes sammen med avanserte matematiske formler og simuleringer for å forsøke å avdekke det dynamiske forløpet til systemet. Dette gir informasjon om hvordan man kan forvente at systemet opererer, men det gir lite informasjon om hele dynamikken til systemet, med det menes hvordan elementene påvirker hverandre. Man får blant annet ikke informasjon om hvordan elementene i strømmettet former et nettverk eller om hendelser som for eksempel dominosvikt som kan forårsake massive strømbrydd. Dominosvikt forklares i avsnitt 2.6. Dette er på grunn av manglende kunnskap om hvordan elementene påvirker hverandre i komplekse systemer. Definisjonen av komplekse systemer innebærer at systemet har minst en egenskap som kompliserer forholdene mellom elementene og kan føre til manglende kunnskap. En modellering av systemet vil ikke gi et presist nok resultat av fremtiden til systemet fordi de kompliserte forholdene mellom elementene ikke kommer frem når man observerer individuelle elementer. Fra nøye studier av naturlige komplekse systemer, slik som relativitetsteorien eller kvantefysikk, så eksisterer det en tro om at kompleksiteten i slike systemer kan forklares ved hjelp av noen universelle og generelle lover. For å gripe om disse lovene så har man studert de makroskopiske egenskapene som komplekse systemer har.

Innenfor forskningen på strømnett så har det hovedsakelig vært tre ulike innfallsvinkler for å avgjøre de makroskopiske egenskapene som et strømnett kan ha. Den ene innfallsvinkelen vurderer hvordan systemet statisk er satt sammen. Slik som hvordan elementene danner nettverk seg i mellom og det er funnet sammenhenger mellom hvordan nettet er strukturert og hvordan det opererer. Den andre innfallsvinkelen ser på dynamikken til systemet og går blant annet ut på å avsløre såkalte skjulte feil. Skjulte feil forklares i kapittel 2.6. Den tredje vinkelen innebærer å vurdere hvilke faktorer som kan bidra til dominosvikt. Dette gir et bilde av sårbarheten til et komplekst system med tanke på sorte svaner. Oppsummert så danner man seg først et bilde av hvordan det komplekse systemet henger sammen, men et komplekst system er utsatt for endringer og derfor er det viktig å også vurdere dynamikken til systemet. Tilslutt så bruker man denne kunnskapen og vurderer hvilke faktorer som kan bidra til dominosvikt.

Analytikerne som analyserte strømnettet (Mei et al. 2011) ønsket å grafisk fremstille strømbrudd som hadde inntruffet i Nord Amerika fra 1996 til 2002, se figur 13.

Strømbruddene viste seg å ha en fordeling som fulgte grafen til en potensfunksjon. En potensfunksjon kan tyde på at det er en underliggende drivkraft som skaper denne potens sammenhengen mellom variablene (Lewis, 2011). For systemer som er utsatt for selvorganisering så mener man at det selvorganiserende kritiske punktet fungerer som en attraktiv tilstand som systemet ønsker å være i. Systemet ønsker å bevege seg mot det selvorganiserende kritiske punktet.



Figur 13: Strømbrudd i Nord Amerika fra 1996 til 2002

Dette fikk analytikerne i strømnettet til å tenke at svikten i strømnettet ikke var enkelt hendelser, men en del av dynamikken til det komplekse systemet.



For å kunne si noe om det selvorganiserende kritiske punktet til systemet så må man se på egenskapene som driver et komplekst systemet og som får selvorganisering til å inntreffe. Man må se på hvordan et komplekst system forandrer seg over tid og hva som gjør komplekse systemer kritiske. Et kritisk system har et potensial for å rammes av store konsekvenser og vil derfor kunne være utsatt for sorte svaner.

### 3.3.2 Selvorganisering kan gjøre systemer kritiske

"Efficient, optimal, and cost-effective systems are why \$#! happens."

Ted G. Lewis (2011)

Lewis (2011) mener at når et komplekst system er effektivt, optimalt og kostnadsbesparende så utsetter systemet seg selv for sorte svaner. Selvorganisering er ofte styrt av positive tilbakemeldingssløyer som skaper effektive, optimale og kostnadsbesparende systemer. Slike systemer har lite ekstra ressurser tilgjengelig, det har høy grad av sammenkobling mellom elementene i systemet og disse to faktorene sammen med blant annet de dominosviktende egenskapene som komplekse systemer ofte har så gir det grobunn for sorte svaner.

I boken "How Nature Works" forklarer Per Bak naturen med disse ordene (Bak, 1999):

"Equilibrium is death. Change is catastrophic. We must adapt because we can't predict."

Dette utsagnet handler om komplekse systemer. Oversatt så betyr det at et system i ro eller likevekt er dødt, mens et system i forandring fører til katastrofer og at vi må tilpasse oss fordi vi ikke kan forutsi fremtiden.

Bak mener at et system i likevekt er dødt. For eksempel så ønsker liberalisme et fritt marked for å gi alle parter i markedet like muligheter, men for at et fritt marked skal være til fordel for alle parter må det være i økonomisk likevekt. Debreu (1972) har studert økonomisk likevekt og det går ut på at markedet må tilby alt det kunden ønsker til priser som er i balanse med hva kunden kan betale. Man må ha komplett informasjon i hele markedet, utskiftbare varer og tjenester og ingen maktposisjoner for å kunne ha et marked i likevekt. I virkeligheten er dette svært vanskelig å gjennomføre og derfor vil ikke en klassisk liberalistisk politikk være til fordel for alle. Det er vanskelig fordi det er svært vanlig at

informasjonen i samfunnet er asymmetrisk som vil si at noen har informasjon som andre ikke har. Dette kommer av at mennesker i samfunnet ønsker privatliv (holde informasjon om seg selv tilbake), men også av at kunnskap gir makt og derfor holdes informasjon tilbake med vilje (Lightfoot og Wisniewski, 2014). Likevekt i et system vil derfor være svært vanskelig å oppnå og opprettholde. Derfor må man forvente forandringer i et system, men innenfor et komplekst system så er det ikke like tydelig hva forandringen fører til.

Ta et økosystem som eksempel. Det er et komplekst system som består av mange ulike typer arter som for eksempel både planter, dyr og mikroorganismer. Tar man en art ut av systemet så kan man ikke alene forklare hvordan denne arten overlever. Man trenger nemlig hele økosystemet med alle de ulike artene som er avhengig av hverandre for å forklare hvordan en art overlever. For eksempel så eksisterer det mer krill enn mennesker i biomasse og krill utgjør mesteparten av dietten til mange hvaler, blekkspruter, seler og pingviner (Atkinson et al. 2009). Skulle mengden krill minke så ville det få store konsekvenser for både dyr som lever av krill, men også for plankton som krill lever av. Dette gjør at systemet er sårbart for forandringer, fordi en forandring kan få store konsekvenser nettopp fordi artene er avhengig av hverandre. Men systemet har også en viss robusthet siden det tross alt har utviklet seg til det punktet hvor det befinner seg på. Denne balansen mellom sårbarhet og robusthet er det som gjør at systemet kan kalles kritisk. Alle egenskaper som defineres som komplekse vil føre til at man ikke har full oversikt over hvordan økosystemet eller et hvilket som helst annet komplekst system fungerer. Noen komplekse egenskaper har potensialet til å eskalere hendelser og dette kan gjøre systemet kritisk. Bak forsøkte å forklare dette ved hjelp av en sandhaug.

### 3.3.3 Det selvorganiserende kritiske punktet og sorte svaner

Selvorganisering er ikke nødvendigvis noe som er negativt og bør unngås, men når selvorganiseringen øker så vil dette føre til at systemet kommer nærmere det selvorganiserende kritiske punktet. Dette avsnittet vil se på sammenhengene mellom det selvorganiserende kritiske punktet og sorte svaner.

Dette kritiske punktet har i følge Lewis (2011) blant annet tette koblinger og mange komplekse interaksjoner. Om systemet når dette punktet så vil det bli vanskelig å styre. Perrow (1999) anbefaler at systemer med tette koblinger styres med en sentral organisasjon. For et slikt system vil trenge rask og koordinert respons siden hele systemet lett kan bli påvirket av en liten endring på grunn av lite slakk. Systemer med mange komplekse

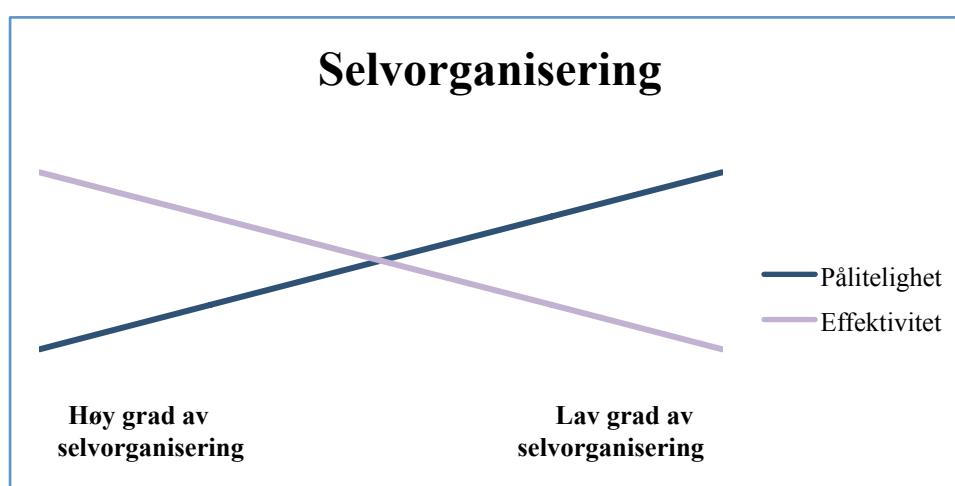
interaksjoner anbefaler han skal bli styrt med en desentralisert organisasjon. Dette er fordi komplekse interaksjoner skaper mange ikke-rutine operasjoner som er vanskelige å standardisere og derfor trenger systemet ulik kompetanse for å løse ulike problemer. I en slik situasjon så trenger man at ulikt personell har myndighet til å ta beslutninger. Disse to styremåtene motsir hverandre, det gjør det vanskelig å styre systemer på det kritiske punktet og derfor ønskelig å unngå. Det kritiske punktet skaper grobunn for sorte svaner fordi hendelser som inntreffer har mulighet til å eskalere og skape store konsekvenser på grunn av at systemet er tett koblet og fordi komplekse interaksjoner gjør det vanskeligere å få kunnskap om hvordan systemet fungerer. Manglende kunnskap kan føre til at hendelser blir vurdert som neglisjerbare eller ikke vurdert i det hele tatt i risikovurderingen. Det kritiske punktet fører til et potensial for at overraskelser kan inntreffe og at konsekvenser kan øke i omfang. Det har potensial for at sorte svaner kan inntreffe. Perrow (1999) anbefaler at man ikke forsøker å operer systemer som har tette koblinger og mange komplekse interaksjoner. Han anbefaler å gjøre koblingene løsere eller å forsøke å minke graden av kompleksitet i slike systemer.

### 3.3.4 Kompleks adferd

Feigenbaum (1983) har forsøkt å lete etter universell oppførsel i ikke-lineære systemer. Han har oppdaget at noe som virker som tilfeldige hendelser ikke nødvendigvis er tilfeldig. Han kaller dette fenomenet for pseudotilfeldighet. Pseudotilfeldighet er kjent fra programvarer som kan generere tilfeldige tall. For den som observerer så inntreffer tallene tilfeldig, men programvaren er programmert til å generere tall ut i fra algoritmer og derfor kan ikke tallene være ekte tilfeldige. Et ekte tilfeldig tall vil ikke noe kunne forutsi, mens et pseudotilfeldig tall er mulig å beregne seg fram til. Programvaren vet hvilket tall som skal genereres før det er generert fordi det er noen lover som forteller programvaren hvordan den skal operere.

Det kan det virke som et komplekst system viser tilfeldig oppførsel, fordi systemet inneholder så mye informasjon at den ikke kan utnyttes. Per Bak (1999) var ikke kjent med begrepet sort svane da han skrev boken "How Nature Works", men i sitt sandhaug eksempel beskriver han en hendelse som kan sammenlignes med en sorte svane og hvordan et komplekst system inneholder mye informasjon. Han forklarer at det kan inntreffe sandskred i en sandhaug, men at ingen vet når eller hvor store skredene kan bli. I ettertid av et sandskred så kan man forstå hvorfor sandskredet inntraff slik det gjorde. Man kan for eksempel se at sandkorn A landet ved sandkorn B som hang sammen med sandkornene C, D og E ved hjelp av friksjon. Alle disse sandkornene sammen beveget seg slik at en fjerdedel av sandhaugen

formet et sandskred. Men for å kunne få denne kunnskapen før hendelsen inntreffer må man ha full kontroll over alle sandkornene og deres sammenhenger i sandhaugen. Noe som ikke er mulig på grunn av mengden informasjon. Det Per Bak har beskrevet kan minne veldig om en sort svane, hendelsen vil komme som en overraskelse med ekstreme konsekvenser (stort sandskred) og vil kunne la seg beskrive i ettertid. Bak kommer med et viktig poeng at komplekse systemer ofte inneholder så store mengder informasjon at det blir for mye til at man kan bruke denne til å eksakt si hvilke hendelser som vil inntreffe når. Men hendelser som inntreffer i komplekse systemer er ikke tilfeldige i følge Lewis (2011). Hendelsene rangerer seg som potensfordelinger og systemet opererer på den måten som gir minst mulig anstrengelse for mest mulig utbytte i følge Zipf (1949). Lewis (2011) mener at noen systemer er så effektive at det går på bekostning av påliteligheten til systemet og at de derfor rammes av sorte svaner. Godt regulerte systemer har mindre samhandling mellom elementene fordi reguleringen er ment til å overstyre de indre kreftene og fører derfor til mindre selvorganisering. Regulering fra utsiden som skaper lav grad av selvorganisering fører ofte til at dette går på bekostningen av effektiviteten, men det øker påliteligheten. Høy grad av selvorganisering skaper høy effektivitet, men igjen lite pålitelighet slik Figur 14 viser. Denne sammenhengen kommer av at effektivitet i denne sammenhengen er grovt definert som det motsatte av pålitelighet. Effektivitet er definert som når man ikke har mer ressurser enn hva systemet trenger for å operere, nettopp for å være kostnadsbesparende (Lewis, 2011) Grovt kan man også definere pålitelighet som et system som har mer ressurser tilgjengelig og dermed mer spillerom som gjør systemet mer pålitelig.



Figur 14: Graden av selvorganisering og sammenhengen til pålitelighet og effektivitet

Hvordan komplekse systemer styres, om det er regulert eller uregulert, påvirker også hvor nært det er det kritiske punktet. Et effektivt system er kjennetegnet ved å utnytte ressursene, som for eksempel kostnader, tid, materialer og arbeidskraft. I et effektivt system er det derfor minimalt med rom for endringer. Skjer det en liten endring så vil denne lettere sette et effektivt system ut av spill enn et system med mer ressurser tilgjengelig. Det gjør at man kan dele inn systemer etter hvor mye ressurser de har tilgjengelig. Effektive systemer har lite ressurser tilgjengelige siden definisjonen av effektivt innebærer at systemet er kostnadsbesparende og dermed ikke har mye kostnader på ekstra ressurser. Systemer med mer ressurser tilgjengelig kalles for robuste og er pålitelige, siden de har mer spillerom, også kalt slakk innenfor prosjektplanlegging. Robuste systemer tåler mer endringer innenfor ressursbruk og vil derfor ikke påvirkes av en endring i like stor grad som et effektivt system.

Et effektivt system har mindre grad av pålitelighet, på grunn av knapphet i ressurser og opererer nærmere det kritiske punktet enn et pålitelig system gjør. Regulerte foretak reguleres slik at de skal opprettholde en viss grad av pålitelighet, for eksempel ha et vist antall ekstra ressurser tilgjengelig og er dermed lenger unna det kritiske punktet enn et foretak som er drevet frem med effektivitet. Et eksempel på et statlig foretak som er regulert er Vinmonopolet AS som er den eneste virksomheten i Norge som får lov å selge alkoholholdige drikkevarer med alkoholinnhold over 4,75%. De driver et monopol og tar ingen risiko med tanke på å bli utkonkurrert. Eksempel på et uregulert system var boliglånmarkedet på 1980-tallet i Norge, lånekulturen ble liberalisert og lite regulert som førte til boligkrakket på slutten av 80-tallet.

Komplekse systemer som påvirkes av selvorganisering driver mot det selvorganiserende kritiske punktet. Dette punktet kan ha mange kjennetegn som vil presenteres i rammeverket. Selvorganiseringen virker som en positiv tilbakemeldingssløyfe hvor et system ønsker å effektivisere seg. Effektiviseringen fører til bedre utnyttelse av ressursene og dette skaper igjen fordelaktige resultater. Resultatene er ønskelige for systemet og fører til mer utnyttelse av ressursene. Uten regulering fortsetter dette helt til ressursene ikke kan opprettholdes lenger. Derfor kan man si at hvordan systemet er styrt påvirker i hvor stor grad det er utsatt for sorte svaner, et mer effektivt system vil operere nærmere det selvorganiserende kritiske punktet enn et system som er styrt mindre effektivt. Lewis (2011) og også Deming (2000) mener at uregulerte systemer er dømt til å ende opp på det kritiske punktet før eller siden og er dermed mer utsatt for sorte svaner. Han mener at sorte svaner kan i større grad unngås ved å regulere komplekse systemer slik at de blir mindre effektive og mer pålitelige. Denne

oppgaven presenterer et rammeverk for å fremme kunnskapen om hvordan komplekse systemer fungerer. Komplekse systemer er dynamiske, de er påvirket av mange ulike krefter både internt og eksternt som gjør at systemet er i stadig endring. Det er også derfor det er ønskelig å regulere komplekse systemer i stedet for å styre de. Regulering vil føre til at man kan holde systemet på et ønskelig sted i forhold til risikoen man ønsker å ta. Med å ha en stabil tilstedeværelse så vil det være mulig å regulere dynamiske systemer.

### 3.3.5 Informasjon fra komplekse systemer utsatt for selvorganisering

De komplekse egenskapene gjør det vanskelig å få kunnskap om komplekse systemer. Avsnitt 3.2.1 forklarer hva en kompleks egenskap er og hvilke komplekse egenskaper som denne oppgaven mener er relevante. Bak (1999) illustrerte også i sitt sandhaugeksempel at komplekse systemer inneholder svært mye informasjon. Begge disse faktorene gjør det til en utfordring å skaffe seg informasjon om systemet. Liu og Lang utførte en studie på studenter som studerte hjemmefra for å se hvordan de søkte informasjon til studiene sine. Studien stemte overens med teorien om minst mulig anstrengelse. Studien viste at studentene generelt tok nærmeste og raskeste tilgjengelige informasjon de fant, til tross for at de var klar over at det kunne finnes bedre informasjon. Men studien viste også at de mest motiverte studentene i større grad også vurderte mindre tilgjengelige informasjonskilder (Liu Z, Lang ZYL, 2004). Mennesker søker lett tilgjengelig informasjon, men komplekse systemer inneholder mye og ikke nødvendigvis lett tilgjengelig informasjon. Da er det viktig å motivere til søk av informasjon.

I tillegg til tilgjengeligheten av informasjon i komplekse systemer så inneholder også komplekse systemer store mengder informasjon. Å søke informasjon om de makroskopiske egenskapene til systemet kan gjøre det lettere å motivere til søk av informasjon. Det gjør søket mer konkret. Lewis (2011) foreslår at de makroskopiske egenskapene til komplekse systemer gir viktig informasjon om dynamikken til systemet. Dynamikken til strømmnett har tidligere vært vanskelig å få med i risikovurderinger av det amerikanske strømmettet og samtidig kunne ikke analytikerne komme med forslag til hva som kunne redusere risikoen for dominosvikt (Mei et al, 2006). Dynamikken til komplekse systemer er derfor sentral i risikovurderingen av sorte svaner fordi en dominosvikt gir et potensial for sorte svaner. Dynamikken til komplekse systemer fører i de fleste tilfeller til selvorganisering. Det skjer fordi man har manglende kunnskap om systemet som gjør det vanskeligere å styre og dermed skjer det en organisering innad i systemet for tilpasse seg miljøet på en mest mulig effektiv måte. Selvorganiseringen i seg selv er ikke uønskelig, men det selvorganiserende kritiske

punktet er ønskelig å unngå for her er systemet kritisk med tanke på sikkerheten. For å lettere kunne unngå det kritiske punktet så kan det hjelpe å kjenne igjen kompleksiteten til systemet.

Et av kjennetegnene til komplekse systemer er at det er begrenset forståelse om systemet. Men det eksisterer allikevel mye informasjon om systemet, hvor de makroskopiske egenskapene til systemet er et eksempel på informasjon som kan være tilgjengelig. Rammeverket som presenteres vil blant annet vurdere de makroskopiske egenskapene og forsøke å si noe om hvilken risiko systemet utsetter seg for.

Et kompleks system er påvirket av mange faktorer. Denne oppgaven vil derfor presentere et rammeverk som skal være med på å fremme kunnskapen om komplekse systemer og sammenhengen til sorte svaner.

### **3.4 Hvordan rammeverket er utarbeidet**

Dette avsnittet ønsker å forklare hvordan denne oppgaven har kommet fram til oppbygningen av rammeverket og hvorfor rammeverket inneholder de faktorene som det gjør.

Det er to kategorier av faktorer som skaper et potensial for sorte svaner og disse er faktorer som fører til manglende kunnskap om systemet og eskalerende faktorer. Manglende kunnskap gjør at en hendelse kan komme som en overraskelse og eskalerende faktorer gjør at hendelsen kan få ekstreme konsekvenser. Dette kan føre til en overraskende hendelse med ekstreme konsekvenser og vil kunne klassifiseres som en sort svane etter Aven (2013b) sine krav, jf. avsnitt 2.2.

Rammeverket vil ta utgangspunkt i disse to kategoriene av faktorer som skaper et potensial for sorte svaner og vurdere hvordan disse kan føre til manglende kunnskap om systemet og hvordan disse kan eskalere hendelser.

I avsnitt 3.3.1 ble det komplekse strømmettet presentert. Dette ble rammet av store strømbrudd og et arbeid med å forbedre nettet med tanke på disse store strømbruddene ble iverksatt. Analytikere valgte å vurdere helheten til strømmettet for å få kunnskap om hvordan elementene i nettet påvirket hverandre og kunne føre til store strømbrudd. De kom frem til tre ulike innfallsvinkler for å forbedre nettet. Disse handlet om å vurdere hvordan systemet er satt sammen som et nettverk, hvordan systemet ville endre seg over tid og hva som påvirket risikoen for dominosvikt. Hvordan systemet er satt sammen og hvordan det vil endre seg handler om å skaffe seg kunnskap om strømmettet og å kontinuerlig være på søken etter ny

informasjon. Kunnskap vil være et sentralt tema i arbeidet med rammeverket. Dominosvikt er en svikt som fører til store konsekvenser på grunn av eskalerende faktorer. Et annet viktig tema i arbeidet med rammeverket vil derfor være å vurdere eskalerende faktorer i et komplekst system.

### 3.4.1 Kunnskap

Tar man utgangspunkt i de komplekse egenskapene som denne oppgaven har kommet fram til så kan man oppsummere egenskapene med at de gjør det vanskelig å tolke informasjonen som man får fra systemet. Sett i perspektiv med sorte svaner så er kunnskapen man har om systemet viktig, for kunnskap vil kunne avdekke potensielle overraskelser.

I avsnitt 2.7 presenteres teori om informasjonsforedling. Kunnskap er hvordan man forstår informasjon og for å kunne kalle noe for kunnskap så må det kunne brukes til en hensikt (Deming, 2000). Informasjonsforedling handler om hvordan man å fanger opp, tolker og behandler riktig den informasjonen som systemet gir. Med andre ord kan man si at informasjonsforedling handler om hvordan man gjør informasjon om til kunnskap.

I et system så kan man påvirke hvordan systemet i sin helhet søker etter informasjon og tolker og behandler denne riktig med hvordan man organiserer systemet. Dette vil også bidra til større kontroll over selvorganiseringen som komplekse systemer utsetter seg for, både fordi man får mer kunnskap om systemet, men også fordi man organiserer systemet og minker muligheten for selvorganisering. Utgangspunktet for en organisering av systemet som vil bidra til å i større grad avdekke potensielle overraskelser er det nye perspektivet for hvordan man kan forstå, vurdere og styre risiko (Aven og Krohn, 2014); jf. avsnitt 2.1.3. For å oppsummere så vektlegger dette perspektivet usikkerhet, risikovurdering og styring, kvalitetsledelse og kollektiv tilstedeværelse. Aven og Krohn har i artikkelen sin argumentert med at dette perspektivet vil kunne føre til ny innsikt i risikovurderinger og dermed kunne avdekke potensielle overraskelser.

Perspektivet Aven og Krohn (2014) presenterer i artikkelen sin vil kunne bidra til en robust organisering av systemet for dette perspektivet kan føre til sterk kunnskap om systemet. Sterk kunnskap vil føre til lav usikkerhet og at ingen sorte svaner vil ramme systemet (Aven, 2013a).



### 3.4.2 Eskalerende faktorer

Komplekse systemer kan ha egenskaper som kan øke forekomsten av sorte svaner. Lewis (2011) foreslår at det er mulig å regulere systemer slik at den generelle forekomsten av sorte svaner går ned, uten å vurdere hvilke hendelser sorte svaner kan inntreffe som. Dette kan man gjøre med å vurdere hvilke faktorer som kan eskalere en hendelse også forsøke å regulere disse faktorene. Et annet ord for eskalerende hendelser som uønskede er dominosvikt. En dominosvikt er en uønsket hendelse som på grunn av sammenhengene i det komplekse systemet forplanter seg videre og skaper store konsekvenser.

Potensialet for dominosvikt kan gjøre et komplekst system sårbart. Å minke potensialet for at en dominosvikt kan inntreffe vil gjøre systemet mer resilient mot sorte svaner. Mindre risiko for at en dominosvikt kan inntreffe vil føre til en mindre risiko for at alle typer sorte svaner, også nye typer sorte svaner vil inntreffe. Det er fordi en sort svaner kan være en dominosvikt som kom som en overraskelse og førte til ekstreme konsekvenser.

Lewis (2011) foreslår at det disse punktene vil påvirke resiliensen til komplekse systemer:

- Store systemer gir store konsekvenser
- Systemer vil bli mindre kritiske med å øke redundans og kapasitet
- Operere under maks kapasitet vil minke faren for at systemet opplever overspenning

Disse punktene mener Lewis (2011) vil minke risikoen for at systemet skal rammes av sorte svaner. Det handler om å se systemet i sin helhet i tillegg til å vurdere de enkelte komponentene som systemet består av. Lenge har det vært akseptert at komplekse systemer slik som aksjemarkedet er uforutsigbart, men teorien om det selvorganiserende kritiske punktet foreslår at komplekse systemer har et kritisk punkt hvor det utsetter seg i større grad for ekstreme hendelser. Denne oppgaven har ikke funnet noen oversikt over faktorer som påvirker hvor kritisk et komplekst system er. Dette rammeverket ønsker å bidra til å vurdere hvor kritisk og dermed hvor sårbart et komplekst system er ovenfor sorte svaner.

For å gjøre et system mer resilient mot dominosvikt så må man vurdere hvilke faktorer som påvirker risikoen for dominosvikt altså hvilke faktorer som kan virke eskalerende.

Ser man på hvordan ulike komplekse systemer kan rammes av dominosvikt så kan man komme frem til noen faktorer som øker potensialet for dominosvikt. Man kan forestille seg en dominosvikt, og så kan man tenke seg at den lett forplanter seg videre hvor det er mye avhengigheter og hvor de enkelte elementene lettere kan svikte på grunn av lav kapasitet eller

få alternativer. Da kan man komme frem til disse hovedfaktorene som øker potensialet for dominosvikt:

- Avhengige elementer (høy sammenkobling i systemet)
- Avhengige systemer (sammenheng til andre systemer)
- Lav kapasitet i systemet
- Få alternativer i systemet

Med utgangspunkt i hva som øker potensialet for dominosvikt så vil dette føre til en minket risiko for dominosvikt:

- Avgrensninger i systemet
- Større grad av selvstendighet i systemet (mindre avhengig av andre systemer)
- Større kapasitet
- Alternativer i systemet

I tillegg vil også risikoen for dominosvikt minke om den generelle risikoen for feil eller uønskede hendelser minker. Det er fordi en dominosvikt ofte starter som en mindre feil eller uønsket hendelse.

### 3.4.3 Oppbygningen av rammeverket

I denne oppgaven er det kommet frem at det er en sammenheng mellom kompleksitet og sorte svaner. Det er hovedsakelig to grunner til denne sammenhengen og det er manglende kunnskap som oppstår i komplekse systemer og måten komplekse systemer er satt sammen på som kan eskalere hendelser. Da sitter man igjen med hendelser som kan inntreffe som en overraskelse og med ekstreme konsekvenser. Denne oppgaven tar utgangspunkt i Aven (2013b) sine definisjoner av sorte svaner som er listet i avsnitt 2.2 og en sort svane som er relevant i denne sammenhengen er en kjent ukjent, som vil si en hendelse som ikke er med i risikovurderingen på grunn av manglende kunnskap.

For å komme frem til et rammeverk som skal fremme kunnskapen om sorte svaner og komplekse systemer så har denne oppgaven tatt utgangspunkt i denne sammenhengen. Det er derfor fokusert på hvordan et system ledes og organiseres for å vurdere hvordan man kan best mulig hente informasjon og kunnskap om komplekse systemer for å unngå overraskelser. Det er også fokusert på hvordan man kan endre oppbygningen av systemet for å forsøke å unngå de eskalerende faktorene som kan skape ekstreme konsekvenser.

Dette rammeverket vil da rette seg direkte mot sorte svaner i komplekse systemer og ikke risikoen for alle uønskede hendelser som kan inntreffe. Derfor er det ment at dette rammeverket skal brukes i tillegg til en generell risikovurdering. Dette er det tatt hensyn til i rammeverket. Generelt kan man også si at om risikoen er høy for uønskede hendelser i et system så vil dette også kunne føre til en høyere risiko for sorte svaner i systemet. Det er fordi komplekse systemer er ikke-lineære og man kan dermed oppleve at en uønsket hendelse eskaleres til en sort svane. Denne eskaleringen kan komme som en overraskelse selv om den opprinnelige uønskede hendelsen er kjent og dermed allikevel føre til en sort svane.

Ved å fokusere på kunnskap om hendelser som kan inntreffe i systemet og også hvordan de kan eskaleres så kan man gjøre potensielle overraskelser med ekstreme konsekvenser kjente og dermed minke risikoen for sorte svaner.

Ved manglende kunnskap så kan det bli vanskeligere å lede og å organisere et komplekst system. Systemet kan da ha en tendens til å organisere seg selv til å bli mer effektiv, men selvorganisering foregår uten å vurdere om det går på bekostning av påliteligheten til systemet. Selvorganisering kan derfor føre til et mer sårbart system og Lewis (2011) skriver i sin bok at selvorganisering kan gjøre systemer kritiske og at dette øker risikoen for sorte svaner. Selvorganiseringen vil minke om man øker kunnskapen om systemet og om man endrer faktorer som kan gjøre systemet mer sårbart.

Det er i denne oppgaven kommet frem til fem faktorer som kan vurdere risikoen for sorte svaner. Faktorene skal vurdere risikoen for sorte svaner med å forsøke å endre de eskalerende faktorene og fremme kunnskapen om systemet. Resiliensen til systemet vil øke med å forsøke å kontrollere de eskalerende faktorene komplekse systemer kan ha.

Dette er de fem faktorene som kan brukes til å vurdere risikoen for sorte svaner og som rammeverket vil deles inn i:

- Organisert
- Kapasitet
- Avgrenset
- Nettverk
- Ytre sammenhenger

Disse fem faktorene er valgt fordi de betydelig kan endre risikoen for sorte svaner. Det er ingen komplett liste over sammenhenger mellom kompleksitet og sorte svaner, men disse har

en stor betydning for risikoen for sorte svaner i komplekse systemer. Nedenfor forklares hva som menes med de ulike faktorene og det forklares hvordan disse kan minke risikoen for sorte svaner.

### Organisert

Hvordan systemet er organisert handler om hvordan systemet påvirkes av mennesker og hvordan man bevisst kan organisere og lede et system. Det handler om å være bevisst holdningen og forståelsen som finnes hos menneskene som påvirker systemet. Dette gjelder holdningen til risiko, måloppnåelse og innhenting av informasjon og forståelsen av viktigheten av dette og å se på systemet som en helhet. Dette påvirker risikoen for å oppdage uønskede hendelser og muligheten til å styre unna disse. Aven og Krohn (2014) skriver i sin artikkel om et nytt perspektiv på risiko basert på blant annet høypålitelige bedrifter (high reliability organizations), kvalitetsledelse og usikkerhet. De konkluderer med at dette perspektivet fører til en ny innsikt i å oppdage potensielle overraskelser slik at man i større grad kan unngå sorte svaner. Et godt organisert system vil være proaktivt i hvordan de responderer til risiko, de vil være tilstede med tanke på å hente informasjon og være klar over at teori er basert på antagelser hvor det eksisterer usikkerhet. Dette er alle prinsipper som er gjeldene i det nye perspektivet som Aven og Krohn (2014) skriver om i sin artikkel.

Et komplekst system kan organisere seg på ulike måter med tanke på påliteligheten til systemet og disse kan være en robust, sårbar eller kritisk organisering. Et robust system har høy pålitelighet, et sårbart system har mindre pålitelighet og et kritisk system har svært lav pålitelighet. Å balansere en linja på tuppen av pekefingeren sin kan være et eksempel på en kritisk situasjon. Linjalen kan falle av pekefingeren selv av en liten endring slik som et vindkast eller en rykning i hånden. Det har ikke så mye å si hva som var årsaken til at linjalen falt av for linjalen ville trolig uansett ha falt av pekefingeren tilslutt. Hadde man lagt linjalen ned i håndflaten så ville ikke linjalen falle like lett. Det er også det teorien om det selvorganiserende kritiske punktet handler om; å forsøke å unngå en kritisk oppbygning av systemet. Et kritisk system vil være et system med høy grad av sårbarhet og lite grad av robusthet eller resiliens. Det kan være en utfordring å vurdere hva som gjør et komplekst system kritisk på grunn av de komplekse egenskapene systemet kan ha som gjør dynamikken avansert.

Et resilient system er motstandsdyktig ovenfor hendelser som kan inntreffe også nye type hendelser. Boka "resilience engineering" av Hollnagel et. al (2006) forklarer hvordan

risikostyringen har utviklet seg til en styringsmetode som fokuserer på å skape resiliente systemer og dette avsnittet baserer seg på denne boka. Det startet tidlig på 1980 tallet med etterforskere som studerte hvordan komplekse systemer som ble rammet av uønskede hendelser reagerte på dette. Etterforskerne la merke til at menneskene i systemene kunne komme med et positivt bidrag til sikkerheten i komplekse systemer gjennom deres evne til å tilpasse seg endringer, mangler eller uplanlagte hendelser i systemet. Analysene av komplekse systemer tydet på at de komplekse systemene som feilet gjorde det fordi de feilet å tilpasse seg, mens de systemene som overlevde gjorde det fordi de klarte å tilpasse seg endringer. Dette førte til at man begynte å tenke at det ville lønne seg å tenke proaktivt i stedet for reaktivt i sammenheng med sikkerhet. I følge Karl Weick er sikkerhet en dynamisk ikke-hendelse. For å kunne ha et proaktivt syn på sikkerhet så må man kunne hente informasjon om endringer i systemet som kan gjøre systemet sårbart og man må kunne møte disse endringene for å skape et sikkert system.

Deming (2000) skriver om kvalitetsledelse i sin bok og om hvordan denne måten å lede et system på gjør et system mer robust. Et system designet av mennesker vil ikke kunne styre seg selv mot målet til systemet og systemet må bli styrt i følge Deming (2000). Han mener at om man overlater et system til seg selv så vil elementene i systemet oppføre seg egoistisk, konkurrerende og elementene vil handle etter egen vinning. Deming har på mange måter beskrevet selvorganisering i sin bok hvor han ønsker å forklare god kvalitetsledelse. De enkelte elementene i systemet ønsker alle å handle etter egen vinning og om de får muligheten til dette mener Deming at systemet i sin helhet vil ødelegges. Han mener at ved å skaffe seg informasjon om alle relasjonene mellom elementene i systemet så kan man styre systemet. Hemmeligheten ligger i å få alle elementene til å ønske det beste for systemet i sin helhet. Dette gjelder for systemer designet av mennesker for å oppnå et mål. Naturlige systemer kan oppleve at elementene oppfører seg egoistisk, konkurrerende og at de handler for egen vinning. For eksempel i et økosystem hvor en blekksprut konkurrerer mot en sel for å kunne spise mest mulig krill.

Det er ledelsens jobb å sørge for at elementene i systemet forstår målet til systemet, hvordan det skal oppnås og hvor ødeleggende det er for systemet om man handler for å oppnå egne mål i stedet for systemet sitt (Deming, 2000).

Deming forklarer også god og dårlig konkurranse. Dårlig konkurranse er konkurranse kun for egen vinning, mens god konkurranse er hvis man kan samarbeide med konkurrentene sine for

å bidra til økt vinning hos begge konkurrentene. Eksempel på god konkurranse kan være to verksteder som holder til i nærheten av hverandre og inngår en avtale. Verkstedene eier hver sin tauebil og avtalen kan gå ut på at om et av verkstedene plutselig får en henvendelse om å taue en bil mens bilen er ute på et annet oppdrag så kan verkstedet ha muligheten til å leie bilen til det andre verkstedet. Det andre verkstedet vil da få inn leiepenger på sin bil som kanskje ikke hadde fått noen oppdrag. Begge verkstedene vil da ha kapasiteten til kanskje 1,8 biler, selv om de kun eier en bil hver. De kan også avtale seg i mellom å ha langåpent annenhver dag slik at kundene alltid kan kjøre til et av verkstedene og dermed beholde kundegruppen sin i stedet for at kundene skulle ha valgt et annet verksted på andre siden av byen.

Måloppnåelse og god konkurranse handler om kunnskap og hvordan denne formidles. Man må ha kunnskap for å vite hva som fremmer helheten til systemet og for å få elementene i systemet med på helhetlig tenkning så må man formidle hvorfor dette er viktig.

Eksempel på et system hvor elementene i systemet ikke samarbeider for systemets vinning, men for hvert enkelt element sitt beste kan være en fabrikk som lager biler. Denne fabrikken er delt inn i avdelinger hvor en avdeling lager motoren og en annen avdeling lager girkassen. En elektroingeniør som jobber med motoren kommer opp med en løsning som innebærer å benytte noen dyrere elektriske komponenter i motoren som igjen fører til at girkassen kan benytte noen billigere komponenter slik Tabell 5 viser. Totalt vil denne oppgraderingen føre til 400 kr redusert kostnad på produksjon av motor og girkasse til sammen. Allikevel ble denne oppgraderingen ikke godkjent av økonomene i motoravdelingen da disse økonomene hadde et mål om å få ned kostnaden av produksjonen av motoren.

**Tabell 5: Kostnad av produksjon av motor og girkasse**

Status	Motor	Girkasse	Sum
Nåværende tilstand	1000 kr	800 kr	1800 kr
Oppgradert	1200 kr	200 kr	1400 kr
Spart ved oppgradering			400 kr

Den organiseringen av systemet som vil bidra til å i stor grad avdekke potensielle overraskelser er det nye perspektivet for hvordan man kan forstå, vurdere og styre risiko som Aven og Krohn (2014) skriver om i sin artikkel; jf. avsnitt 2.1.3. Aven og Krohn har i

artikkelen sin argumentert med at dette perspektivet vil kunne føre til ny innsikt i risikovurderinger og dermed kunne avdekke potensielle overraskelser.

Perspektivet Aven og Krohn (2014) presenterer i artikkelen sin vil kunne bidra til en robust organisering av systemet for dette perspektivet kan føre til sterk kunnskap om systemet. Sterk kunnskap vil føre til lav usikkerhet og at ingen sorte svaner vil ramme systemet (Aven, 2013a).

Men det er viktig å vurdere de eskalerende faktorene som påvirker komplekse systemer i tillegg til å styrke kunnskapen om systemet. Kan man redusere de eskalerende faktorene sammen med å ha sterk kunnskap om systemet så vil dette i bidra til et system som har minnet potensialet sitt for sorte svaner, også nye typer sorte svaner.

### Kapasitet

Kapasitet handler om den maksimale yteevnen til systemet. Et system, spesielt systemer designet av mennesker har ofte en forventet evne som systemet yter. Det er knyttet usikkerhet til hvor mye systemet må yte i ulike situasjoner så for at systemet skal kunne tåle mer belastning så må man legge inn muligheten for ekstra kapasitet. Dette kan gjøres med å ha ekstra ressurser eller erstatning til ressursene tilgjengelig. Det er klart at om et systemet opererer med kun nødvendige ressurser så vil dette skape et potensial for uønskede hendelser i mye større grad enn systemer som har ekstra ressurser tilgjengelig. Det kan være innebære en større kostnad å ha ekstra ressurser tilgjengelig, men om systemet ikke kan levere så kan det også innebære store kostnader. Et eksempel på ekstra ressurser kan være strømmettet i Norge som har muligheten til å kjøpe strøm fra utlandet om vi ikke klarer å produsere nok til eget forbruk. Et eksempel på erstatning til ressursene kan være et sykehus som er svært avhengig av elektrisitet og derfor har egne strømgeneratorer for å ha tilgang til strøm selv om strømmettet ikke kan levere. Erstatninger slik om egne generatorer kan være uavhengige elementer og dermed ikke bli påvirket av usikkerhetene som eksisterer rundt et komplekst system. Har flere elementer i et system lav kapasitet så vil disse lettere svikte og om et element svikter så kan det hende de andre elementene må kompensere. De andre elementene kan da risikere å svikte selv også. Dette vil i et komplekst system skape et potensial for dominosvikt. Kapasitet er derfor en viktig faktor i sammenheng med dominosvikt og dominosvikt skaper et potensial for sorte svaner.

### Avgrenset

Et avgrenset system er delt inn i mindre seksjoner. Disse kan være fysisk eller organisatorisk

avgrenset, men må allikevel vurderes i helhet med systemet for å forstå dynamikken til systemet. Avgrensingen skal forsøke å hindre at konsekvenser fra en uønsket hendelse sprer seg i hele systemet og avgrensningene bør gjøres med denne kunnskapen som utgangspunkt. Å avgrense et system vil minke potensialet for dominosvikt. Et eksempel på en fysisk avgrensning kan være et strømnnett delt inn i seksjoner, hvor de ulike seksjonene normalt sett ikke er koblet sammen fysisk. Det vil allikevel være en fordel om seksjonen kan kobles sammen for å totalt sett øke kapasiteten til hele systemet om noe uventet skulle skje. En organisatorisk avgrensning kan være avdelinger innen et system som for eksempel benytter ulike leverandører. Om systemet kan hindre en uønsket hendelse i å spre seg i hele systemet så vil dette minke potensialet for sorte svaner. For eksempel så er det blitt svært vanlig blant banksystemer å benytte et elektronisk system for alle banktransaksjoner, men dette gjør banksystemet sårbart. Inntreffer en svikt i det elektroniske systemet så kan dette føre til at man hverken kan ta ut penger i minibanken eller i selve banken i tillegg til at man ikke kan logge på nettbanken. En liten svikt kan da få store konsekvenser. Avgrensninger i et komplekst system vil derfor minke konsekvensene om en svikt skulle inntreffe.

### Nettverk

Nettverk handler om hvilke sammenhenger som eksisterer innen et system. For eksempel i et strømnnett så kan det være hvordan ledningsnettet er designet for å levere strøm til alle abonnentene. Et annet eksempel kan være hvilke sammenhenger som eksisterer i et økonomisk system, for eksempel at en person eier en stor del av aksjene i flere ulike firmaer. Denne personen kan da skape en sammenheng mellom de ulike firmaene og skulle for eksempel et firma gå konkurs så kan det hende at denne personen selger vekk flere aksjer i andre firmaer som igjen kan påvirke aksjeprisen. Mange sammenkoblinger innenfor et system øker potensialet for at en dominosvikt kan plante seg videre i systemet og derfor har sammenkoblinger og hvordan disse danner et nettverk en direkte sammenheng med sorte svaner.

Sammenhenger eksisterer innen svært mange systemer og kan være vanskelige å oppdage. Et komplekst system er satt sammen av elementer til et helt sammensatt system. Det er viktig å se på hvordan hele systemet fungerer som en helhet for å avgjøre hvor sikkert systemet er i forhold til det selvorganiserende kritiske punktet. Men systemet består også av enkelte elementer og disse har også en viktig rolle for påliteligheten til systemet. Man kan ha få eller mange sammenhenger innen et komplekst system og disse kan danne nettverk med elementer med jevnt over like mange sammenhenger eller noen elementer som skiller seg ut og har

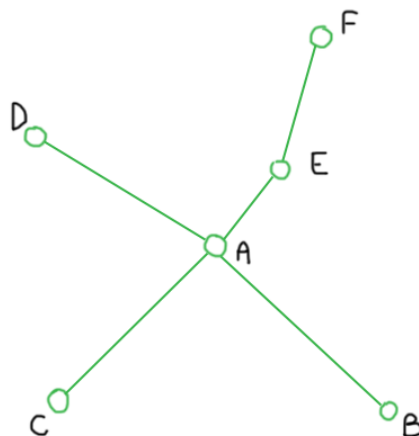


mange fler sammenhenger enn resten. Et nettverk med jevnt over like mange sammenhenger mellom alle elementene kan man kalle et nettverk med jevne elementer. Et nettverk med noen elementer som skiller seg ut og har mange fler sammenhenger enn resten kan man kalle et nettverk med hovedelementer. Dette kan sammen med om systemet har få eller mange sammenkoblinger generelt i systemet danne fire ulike situasjoner.

	Få sammenhenger	Mange sammenhenger
Jevne elementer	Lite potensial for dominosvikt. Grad 3.	Moderat potensial for dominosvikt. Grad 1.
Hovedelementer	Noe potensial for dominosvikt. Grad 2.	Stort potensial for dominosvikt. Grad 0.

#### Systemet har et nettverk med hovedelementer

Et hovedelement er et element som har mange sammenhenger til andre elementer i systemet. Det at systemet er satt sammen av hovedelementer gjør det i større grad utsatt for sorte svaner, men hovedelementer gjør at systemet generelt har høy reliabilitet med tanke på at tilfeldige feil skal inntreffe. En tilfeldig feil har like stor sannsynlighet for å treffe et hovedelement som et annet element i systemet og kan for eksempel være svikt i elektrisk komponent. Siden slike typer systemer ofte har få hovedelementer så vil forventinger tilsi at det er større sannsynlighet for at et mindre element skal bli rammet enn et hovedelement. Men skulle et hovedelement bli rammet så vil dette føre til store konsekvenser. Dette gjør systemet sårbart for påførte feil slik som terror for da kan terroren sikte seg inn mot et hovedelement.



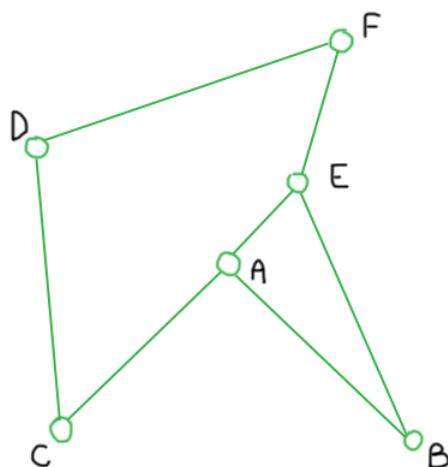
Figur 15: Punkt A er et hovedelement

Hovedelementer i et komplekst system skaper et potensial i systemet for sorte svaner. Det er fordi hovedelementene kan bli påvirket på mange ulike måter og i en kompleks sammenheng så kan det være vanskelig å få kunnskap om hvordan dette kan skje. Hovedelementene organiserer også systemet slik at konsekvensene kan bli ekstreme fordi et element har mange sammenhenger.

DNA er et eksempel. DNAet består av en liten del som faktisk koder for proteiner mens store deler av DNAet er kun gjentakende sekvenser som fungerer som en sikkerhet. DNAet er sårbart for mange ulike faktorer som kan føre til at feil i DNAet oppstår, men som regel så skjer disse feilene i den delen av DNAet som ikke koder for proteiner og dermed er det av ingen betydning for organismen. Skjer derimot feilen i den delen av DNAet som koder for proteiner kan det oppstå mutasjoner som kan føre til en endring av organismen eller død.

#### Systemet har et nettverk med jevne elementer

Jevne elementer vil si at elementene i nettverket har omtrent like mange koblinger til andre elementer og gjør at konsekvensene blir de samme uansett hvilket element som rammes av feil. Uansett om systemet rammes av en tilfeldig eller en påført uønsket hendelse så vil elementene jevnt over skape de samme konsekvensene. Jevne elementer skaper ikke et potensial i seg selv for sorte svaner. Figur 16 viser et enkelt nettverk hvor elementene i nettverket har omtrent like mange koblinger.



Figur 16: Alle elementene har omtrent like mange koblinger

### Få sammenhenger

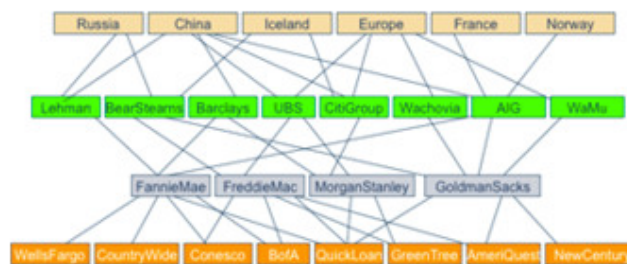
Få sammenhenger skaper et mer resilient system med tanke på dominosvikt og også sorte svaner. En svikt har mindre risiko for å føre til flere følger fordi en svikt ikke har muligheten til å påvirke så mange andre elementer.

### Mange sammenhenger

Mange sammenhenger mellom de ulike elementene i systemet gjør at en svikt lettere kan arte seg som en dominosvikt. Oppstår en svikt i et element så vil denne svikten lettere påvirke mange andre elementer fordi det finnes en direkte sammenhenge mellom elementet so har sviktet og mange andre elementer.

### Finanskrisen 2008 - Mange sammenhenger og hovedelementer

Figur 17 viser hvordan Lewis (2011) har fremstilt sammenhengene mellom de ulike elementene i finanssystemet før finanskrisen i 2008. Dette systemet har flere hovedelementer og generelt mange sammenkoblinger mellom elementene.



Figur 17: Lewis (2011) har laget en grov fremstilling av sammenhenger før finanskrisen i 2008.

Den høye graden av sammenhenger mellom de ulike elementene i finanssystemet før finanskrisen kan være et resultat av prinsippet om minst mulig anstrengelse som er et prinsipp som selvorganisering kan følge. Det er fordi det krever mindre energi å ha direkte sammenhenger enn indirekte. Alle sammenhengene bidro til at svikten i systemet fikk utarte seg som en dominosvikt og gav ekstreme konsekvenser. Lewis (2011) mener at om man hadde regulert systemet til å ha mindre sammenhenger mellom elementene så ville hendelsen som startet finanskrisen 2008 trolig gitt mindre konsekvenser. Kanskje også så mye mindre konsekvenser at finanskrisen ikke lenger ville vært kategorisert som en sort svane.

### Ytre sammenhenger

Ytre sammenhenger handler først og fremst om hvor uavhengig systemet er. Et uavhengig system har mindre usikkerhet rundt hva som kan ramme systemet og dermed et mindre potensial for å bli påvirket av andre hendelser utenfra systemet. Et system kan være uavhengig om det ikke har noen sammenhenger med andre systemer eller om det har gode erstatninger til hva det er avhengig av. Vurderer man ytre faktorer så innebærer dette klima, miljø og sammenhenger til andre systemer. Ytre faktorer påvirker også risikoen for sorte svaner i komplekse systemer og det er enten fordi en ytre faktor fører til en uønsket hendelse som det komplekse systemet kan eskalere til en dominosvikt eller fordi sammenhengen til for eksempel andre systemer gjør at det komplekse systemet blir en del av en større dominosvikt. Slik som skjedde med mange firmaer under finanskrisen i 2008. De ytre faktorene som klima og miljø vil ikke dekkes av dette rammeverket for de i seg selv øker ikke risikoen for sorte svaner spesifikt, men det er ment at disse faktorene skal vurderes i en standard risikovurdering. Derimot så vil sammenhenger til andre systemer øke potensialet for en sort svane fordi et system kan bli en del av enda større svikt og skape et potensial for ekstreme konsekvenser.

## 4. Rammeverket

### 4.1 Presentasjon av rammeverket

Hensikten til rammeverket er å gjøre komplekse systemer mer resiliente med tanke på sorte svaner og er ment til å brukes i tillegg til en standard risikovurdering. Det er fordi dette rammeverket vurderer faktorer og egenskaper som kan skape manglende kunnskap og virke eskalerende på hendelser som kan inntreffe. Det skal fremme kunnskapen om hvordan komplekse systemer påvirkes av selvorganisering og hvordan man kan kontrollere det slik at det selvorganiserende kritiske punktet kan unngås. Rammeverket er delt inn etter faktorer som påvirker risikoen for sorte svaner. Faktorene som er med i rammeverket er ikke komplette, men er av svært stor betydning for hvor sårbart systemet er for sorte svaner. Hver faktor er gradert fra 0 til 3 og høyere grad betyr at det komplekse systemet er mer resilient og dermed mindre sårbart med tanke på sorte svaner. Graderingene av de ulike faktorene fremstilles i et radardiagram slik som vist i avsnitt 4.3. Større areal i radardiagrammet indikerer et mer resilient komplekst system og mindre areal i radardiagrammet indikerer et mer sårbart komplekst system for sorte svaner.

### 4.2 Rammeverket for komplekst systemer

Tabell 6: Hvordan systemet er organisert og hvilken grad av risiko det utsetter seg for sorte svaner.

Grad	Organisert	Kjennetegn
0	Dårlig	<ul style="list-style-type: none"><li>• Informasjon er skjult</li><li>• Søk av informasjon er uønsket</li><li>• Få har ansvar</li><li>• Samarbeid er ikke ønskelig</li><li>• Feil dekkes over</li><li>• Nye ideer er uønsket</li></ul>
1	Middels	<ul style="list-style-type: none"><li>• Informasjon kan ignoreres</li><li>• Søk av noe informasjon tolereres</li><li>• En gruppe har ansvar</li><li>• Noe samarbeid, men oppfordres</li></ul>

		ikke <ul style="list-style-type: none"> <li>• Organisasjonen er rettferdig og barmhjertig</li> <li>• Nye ideer byr på problemer</li> </ul>
2	Godt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informasjon tas hensyn til</li> <li>• Informasjon søkes aktivt</li> <li>• Ansvar fordeles</li> <li>• Samarbeid oppfordres</li> <li>• Feil fører til vurderinger</li> <li>• Nye ideer er ønsket</li> </ul>
3	"Det nye perspektivet på risikostyring"	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systemet er organisert etter kjennetegnene til det nye perspektivet på risikostyring (Aven og Krohn, 2014). Disse er presentert i avsnitt 2.1.3 og ikke gjentatt her på grunn av mengden av informasjon. Men innebærer blant annet en kollektiv tilstedeværelse og kontinuerlig søk etter ny informasjon.</li> </ul>

Tabell 7: Hvordan systemet har tatt hensyn til kapasitet og hvilken grad av risiko det utsetter seg for sorte svaner.

Grad	Kapasitet	Kjennetegn
0	Ingen ekstra kapasitet. Ingen ekstra ressurser eller erstatning til ressursene tilgjengelig. Systemet er ikke designet for å håndtere ekstra yte evne.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forsinkelse i produksjon ikke mulig</li> <li>• Sekvenser kan ikke forandres</li> <li>• Kun en metode for å nå et mål</li> <li>• Ingen slakk på ressurser som forsyninger, utstyr og personell</li> </ul>
1	Lav kapasitet. Litt ekstra ressurser.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lite mulighet for forsinkelse i produksjon</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buffere og redundans må designes inn</li> <li>• Begrenset reserveløsninger for forsyninger, utstyr og personell</li> <li>• Begrensede metoder for å nå et mål</li> </ul>
2	Moderat kapasitet.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mulighet for forsinkelse i produksjonen</li> <li>• Buffere og redundans er designet inn i systemet i moderat grad (utdyp)</li> <li>• Mulighet for reserveløsninger for forsyninger, utstyr og personell</li> <li>• Mulig å nå et mål på flere måter</li> </ul>
3	Mye kapasitet.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forsinkelse er regnet med i produksjonen</li> <li>• Gode buffere og mye redundans er designet inn i systemet</li> <li>• Tilgjengelige reserveløsninger for forsyninger, utstyr og personell</li> <li>• Mange metoder for å nå et mål tilgjengelig</li> </ul>

**Tabell 8: Hvordan systemet er avgrenset og hvilken grad av risiko det utsetter seg for sorte svaner.**

Grad	Avgrenset	Kjennetegn
0	Ingen avgrensing	Ingen oppdeling av systemet.
1	Grovt avgrenset	Systemet er avgrenset uten klare ansvarsforhold for de ulike delene av systemet.
2	Avgrenset	Systemet er avgrenset med klare

		ansvarsforhold for de ulike delene av systemet.
3	Godt avgrenset	Oversiktlig avgrenset med klare ansvarsforhold og organisert slik at styringen av en del av systemet ikke lar seg distrahere av en annen del av systemet.

**Tabell 9: Hvordan systemet har dannet et nettverk mellom elementene og hvilken grad av risiko det utsetter seg for sorte svaner.**

Grad	Nettverk	Kjennetegn
0	Stort potensial for dominosvikt	Systemet har hovedelementer og mange sammenhenger mellom elementene i systemet.
1	Moderat potensial for dominosvikt	Systemet har jevne elementer og mange sammenhenger mellom elementene i systemet.
2	Noe potensial for dominosvikt	Systemet har hovedelementer og få sammenhenger mellom elementene i systemet.
3	Lite potensial for dominosvikt	Systemet har jevne elementer og få sammenhenger mellom elementene i systemet.

**Tabell 10: Hvordan systemet har tatt hensyn til ytre sammenhenger og hvilken grad av risiko det utsetter seg for sorte svaner.**

Grad	Ytre sammenhenger	Kjennetegn
0	Dårlig kjennskap eller mye avhengighet	Ingen kjennskap til ytre faktorer eller mange elementer i systemet har sammenhenger med andre systemer uten erstatninger innad i systemet.



1	Lite kjennskap eller moderat avhengighet	Lite kjennskap til ytre faktorer eller et system med elementer som har sammenhenger med andre systemer med delvis erstatninger innad i systemet.
2	Godt uavhengig	Elementer i systemet er i hovedsak kun påvirket av det ene systemet det hører til eller så eksisterer det gode erstatninger innad i systemet.
3	Svært godt uavhengig	God kjennskap til hvordan man kan stå i mot ytre uønskede hendelser og elementene i systemet er kun påvirket av det ene systemet det hører til.

### 4.3 Eksempel på bruk av rammeverket

Det norske og det amerikanske strømmettet er gode eksempler på komplekse systemer. Systemene er påvirket av komplekse egenskaper og det kan være vanskelig å få informasjon om systemene. Det er allikevel relativt lett å få informasjon om systemene og vil derfor bli brukt som eksempler i denne oppgaven på hvordan rammeverket kan brukes.

Med hjelp av dette rammeverket så skal risikoen det norske og det amerikanske strømmettet utsetter seg for med tanke på sorte svaner vurderes. Disse komplekse systemene er utsatt for en rekke faktorer som påvirker systemet. Faktorer som kulde, befolkningsvekst, pris på elektrisiteten eller holdning til energiforbruk er med på å bestemme hvor mye elektrisitet man ønsker fra systemet. Mens faktorer som vær, hvilken stand utstyret har, utvinning av elektrisitet er faktorer som er med på å bestemme hvor mye systemet kan levere. Disse faktorene blir ofte vurdert i standard risikovurderinger og er med å påvirker risikoen for uønskede hendelser. Men en sort svane er en hendelse som ikke oppfattes av risikovurderingen eller vurderes som neglisjerbar og dette rammeverket retter seg mot disse og er ment å bruke i tillegg til en generell risikovurdering av systemet.

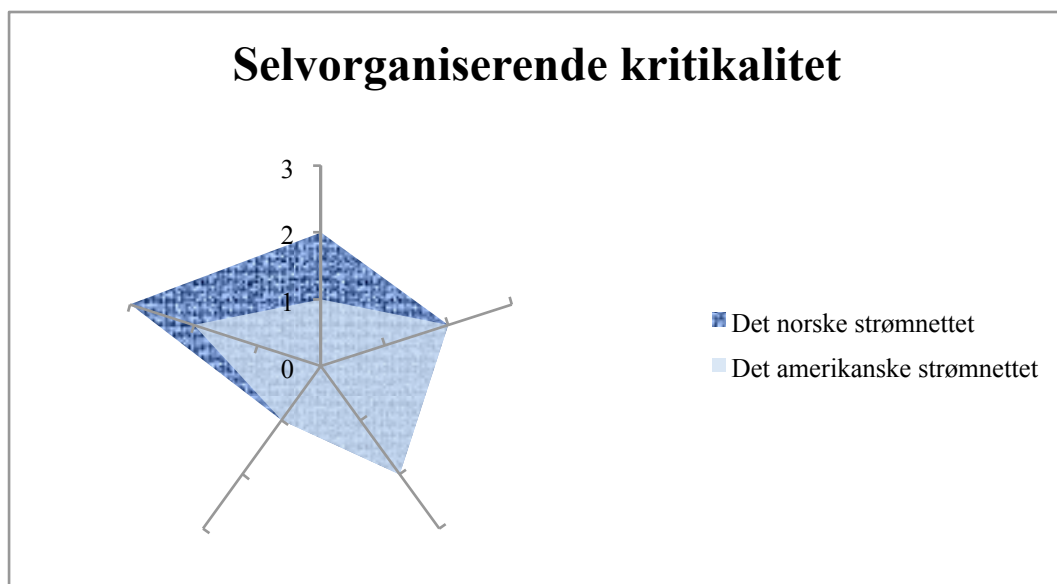
Informasjon om det norske strømmettet er hentet fra Hafslund (2014) og Statnett (2011).

Det norske strømmettet		
Faktor	Grad	Begrunnelse
Organisert	2	Ledelsen søker ny informasjon og ønsker å forbedre nettet, men oppgraderingen av strømmettet skjer delvis og ikke med det fokuset på helheten i systemet som et komplekst system krever for å ha kontroll over selvorganiseringen.
Kapasitet	2	Kapasiteten er moderat god, men nettet har behov for oppgraderingen som gjennomføres innen 2016.
Avgrenset	2	Nettet er avgrenset geografisk og organisatorisk, men avgrensingen er ikke som et resultat av å begrense potensialet til en eventuell dominosvikt.
Nettverk	1	Strømmettet har tendenser til klynger med elementer, dette kommer av geografisk hvor strømmen utvinnes og av geografiske utfordringer i ledningsnettet.
Ytre sammenhenger	3	Store deler av strømmen i Norge er basert på fornybar energi noe som gjør strømmettet i Norge uavhengig.

Informasjon om det amerikanske strømmettet er hentet fra Department of Energy (2012).

Det amerikanske strømmettet		
Faktor	Grad	Begrunnelse
Organisert	1	Strømmettet er bygget opp med mange ulike strømleverandører og disse leverandørene må etterleve visse standarder for å sikre leveransen av strøm. Dette gjør nettet noe organisert, men ikke helhetlig nok til å ha kontroll over selvorganiseringen. De mange statene er med å begrense mulighetene for helhetlig organisering av nettet.
Kapasitet	2	De tre amerikanske strømmettene kan koble seg til både det canadiske og det meksikanske strømmettet om det skulle være nødvendig med ekstra forsyning med strøm.

		Mye av strømmen i Amerika genereres fra kull. Dette kan begrense kapasiteten til strøm fordi kull er en begrenset energikilde og fordi det bidrar til CO <sub>2</sub> utslipp. Et krav om begrensede CO <sub>2</sub> utslipp kan føre krav om begrensninger i bruk av kull.
Avgrenset	2	Det amerikanske strømmettet består av tre nett som kan kobles sammen. De er normalt adskilt og vil hindre en dominosvikt i å spre seg over hele landet.
Nettverk	1	Nettverket er sårbart bygget sammen med noen viktige elementer i strømmettet som hvis flere blir slått ut samtidig kan føre til et nasjonalt strømbrudd.
Ytre sammenhenger	2	Store deler av det amerikanske strømmettet er koblet direkte til det canadiske strømmettet, mens noen deler av strømmettet er delvis koblet til det meksikanske strømmettet. Dette gjør at de kan bli påvirket av Canada og Mexico. De er også avhengige av kull fra Colombia.



Mindre areal av trekanten betyr at systemet befinner seg nærmere det selvorganiserende kritiske punktet og at det er større sannsynlighet for å bli rammet av en sort svane. Det amerikanske strømmettet har større risiko for å oppleve sorte svaner enn det norske. Begge strømmettene har potensial til minke risikoen for sorte svaner og dette gjelder spesielt om de vurderer helhetlig sammensetning av strømmettet også kjent som en forbedring av nettverket.

## 5. Drøfting av rammeverket

### 5.1 Rammeverket generelt

Rammeverket vurderer faktorer som påvirker risikoen for dominosvikt ved å vurdere hva som kan føre til manglende kunnskap om et system og hva som kan eskalere en hendelse i et system. Det er mulig at det er flere faktorer som påvirker hva som kan føre til manglende kunnskap om et system og hva som kan eskalere en hendelse i et system. Dette rammeverket vil allikevel oppfordre til å tenke helhetlig og med ny innsikt på hvordan sorte svaner kan ramme et system og dermed kunne tilføre ny kunnskap til en risikovurdering. Dette er essensielt for å oppdage potensielle overraskelser og dermed vil allikevel dette rammeverket føre til en minket risiko for sorte svaner selv om dette rammeverket ikke er fullstendig.

### 5.2 Oppdatering av komplekse systemer utsatt for selvorganisering

Selvorganisering er ofte noe som får fritt spillerom når et system oppdateres for å tilpasse seg endringer. Det er fordi det er lett å oppgradere deler av systemet uten å vurdere hvordan det vil påvirke systemet i sin helhet. Delvis er det vanskeligere å organisere et system og systemet vil i større grad organisere seg selv.

Lewis (2011) mener at om samfunnet ikke har tilgang til rent vann, energi, transportsystemer og kommunikasjonssystemer så vil det føre til ekstreme konsekvenser for samfunnet. Lewis har noen gode poeng. Samfunnet står ovenfor store utfordringer med tanke på økt behov for mange systemer. Befolkningsvekst, ønsket om å bo i by og ny teknologi er blant annet noen faktorer som skaper nye behov til hva systemer samfunnet avhenger av kan levere. Systemer må oppdateres for å kunne levere nok kapasitet av elektrisitet, mobilnett og vannforsyning for å nevne noen eksempler. Det enkleste er ofte å oppgradere deler av systemer ettersom behov melder seg, men dette forbedrer ikke systemet i sin helhet. Om man ser for seg en asfaltert vei hvor det oppstår hull så er det raskt og rimelig å lappe hullene slik at veien igjen fungerer, men veien i sin helhet blir ikke styrket. Det er viktig å ha hele systemet med i en vurdering når et system oppdateres. Dette bør prioriteres når systemer skal oppdateres i tiden som kommer slik at selvorganiseringen ikke tar overhånd over systemet og skaper en økt risiko for sorte svaner.

### 5.3 Bruken av rammeverket

Rammeverket er utarbeidet for å fremme kunnskapen om sårbarheten komplekse systemer utsetter seg for fordi selvorganisering kan endre systemet mot å bli mer effektivt på bekostning av påliteligheten til systemet. Rammeverket skal brukes i tillegg til en ordinær risikovurdering for å vurdere helheten i systemet utover de enkelte elementene i systemet. Rammeverket er også ment som inspirasjon til hvordan man kan tenke i risikovurderinger av komplekse systemer.

## 6. Konklusjon

Denne oppgaven har vurdert hvordan et komplekst system kan føre til manglende kunnskap om systemet og hvordan hendelser kan eskalere og føre til store konsekvenser i komplekse systemer. Den har sett på sammenhengen mellom komplekse systemer og sorte svaner.

Komplekse systemer har komplekse egenskaper slik som forsinkelse mellom årsak og virkning, positive eller negative tilbakemeldingssløyfer, interindividuell variasjon, mellomliggende variabel, subsystemer, indirekte informasjonskanaler, interaksjoner og nettverksdanning av elementer. Et system er komplekst om det har minst en av disse komplekse egenskapene. Egenskapene kompliserer systemet og skaper manglende kunnskap om systemet. Noen av egenskapene virker også eskalerende på hendelser som inntreffer. Manglende kunnskap og eskalerende egenskaper kan skape sorte svaner fordi en hendelse kan inntreffe som en overraskelse og med ekstreme konsekvenser.

Selvorganisering fører til en kritisk oppbygning av systemet, hvor systemet blir effektivisert uten hensyn til påliteligheten til systemet. Selvorganisering kan derfor føre til at systemet havner på det som kalles det selvorganiserende kritiske punktet. Her er systemet organisert slik at en liten endring kan få store konsekvenser og risikoen for sorte svaner er dermed høy.

Denne oppgaven har utarbeidet et rammeverk som skal fremme kunnskapen om kompleksitet og sorte svaner. Rammeverket forteller hvor resilient et komplekst system er ovenfor sorte svaner og hvor nært systemet er det selvorganiserende kritiske punktet, altså hvor sårbart systemet er. Rammeverket er ikke testet og kan sees på som et teoretisk rammeverk som er ment til å brukes i tillegg til en standard risikovurdering. Rammeverket fremmer helhetlig tenkning rundt et komplekst system og vil kunne tilføre nye vurderinger til en risikovurdering.

Det nye perspektivet på å forstå, vurdere og styre risiko som Aven og Krohn (2014) skriver i sin artikkel vil kunne avdekke potensielle overraskelser også for komplekse systemer, men komplekse systemer kan også virke eskalerende på hendelser som inntreffer og kan skape potensielle ekstreme konsekvenser. Det er viktig å vurdere de eskalerende egenskapene som komplekse systemer kan ha og dette vil denne oppgavens rammeverk gjøre.

## 7. Referanser

Atkinson A, Siegel V, Pakhomov EA, Jessopp MJ og Loeb V (2009). A re-appraisal of the total biomass and annual production of Antarctic krill. *Deep-Sea Research I*

Aven T, Renn O (2010) Risk Management and Governance: Concepts, Guidelines and Applications. Springer

Aven T (2012a) Om perfekte stormer og sorte svaner. *Aftenbladet*, 13.05.12, sist hentet: 10.10.13. <<http://www.aftenbladet.no/kommentar/Om-perfekte-stormer-og-sorte-svaner-2972062.html#.UIEhvRYqSFc>>

Aven T (2012b) The risk concept—historical and recent development trends. *Reliability engineering and system safety*, 99: 33-44

Aven T (2013a) On How to Deal with Deep Uncertainties in a Risk Assessment and Management Context. *Risk Analysis*. Volume 33. Issue 12, pages 2082–2091, December 2013

Aven T (2013b) On the meaning of a black swan in a risk context. *Safety Science*, 57: 44-51

Aven T, Krohn B S (2014) A new perspective on how to understand, assess and manage risk and the unforeseen. *Reliability engineering and system safety*, 121: 1-10

Aven T, Vinnem JE (2007) Risk Management With Applications from the Offshore Petroleum Industry. Springer.

Bak P (1999) How nature works: the science of self-organized criticality. Copernicus

Bak P, Tang C, Wiesenfeld K (1987) Self-organized criticality: An explanation of the 1/f noise. *Physical Review Letters*, 59, 381 – Published 27 July 1987.

Balterzen. M, Iversen E. L. (2014) Brev til Finansdepartementet, 29. januar 2014. *Finanstilsynet*, 29.01.14, sist hentet 26.02.14.

<[http://www.finanstilsynet.no/PageFiles/40575/Gjennomforing\\_og\\_virkninger\\_av\\_retningslinjer\\_for\\_forsvarlig\\_utlanspraksis\\_for\\_lan\\_til\\_boligformal.pdf](http://www.finanstilsynet.no/PageFiles/40575/Gjennomforing_og_virkninger_av_retningslinjer_for_forsvarlig_utlanspraksis_for_lan_til_boligformal.pdf)>

Barrierer (2014) Barrierer. *Petroleumstilsynet*, sist hentet: 28.05.14.

<<http://www.ptil.no/barrierer/category1106.html>>

Boligprisstatistikk (2014) *Norges Eiendomsmeglerforbund*, sist hentet: 13.06.14

<<http://www.nef.no/xp/pub/topp/boligprisstatistikk>>

Debreu G (1972) *Theory of Value: An Axiomatic Analysis of Economic Equilibrium*. Yale Univ Pr.

Deep Water (2011) *The Gulf Oil Disaster and the Future of Offshore Drilling*, Report to the President. National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling

Deming WE (2000) *The new economics*. 2nd ed. Cambridge, MA: MIT CAES; 2000.

Department of Energy (2012) What is the electric power grid, and what are some challenges it faces?, *Department of Energy*, 27.04.12, sist hentet: 03.06.14.

<[http://www.eia.gov/energy\\_in\\_brief/article/power\\_grid.cfm](http://www.eia.gov/energy_in_brief/article/power_grid.cfm)>

Dobson I, Carreras BA, Lynch VE, Newman DE (2007) Complex systems analysis of series of blackouts: Cascading failure, critical points, and self-organization. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 17, 026103

Fagan S, Gençay R (2010), "An introduction to textual econometrics", in Ullah, Aman; Giles, David E. A., *Handbook of Empirical Economics and Finance*, CRC Press, pp. 133–153

Grossi P, Kunreuther H (2006) *Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk*. Springer

Hafslund (2014) Fakta om strømmettet i Norge. *Hafslund*, sist hentet: 02.06.14

<[http://www.hafslundnett.no/nett/artikler/les\\_artikkel.asp?artikkelid=40](http://www.hafslundnett.no/nett/artikler/les_artikkel.asp?artikkelid=40)>

Hollnagel E, Woods DD, Leveson N (2006) *Resilience Engineering: Concepts And Precepts*, Ashgate Pub Co

ISO 31000 (2009) *Risk management – Principles and guidelines*

Knight JC (2002) *Safety Critical Systems: Challenges and Directions*. Software Engineering, 2002. ICSE 2002 pp. 547 - 550

Koubatis A, Schönberger J Y (2005) Risk management of complex critical systems. *Int. J. Critical Infrastructures*, Vol. 1, Nos. 2/3, pp.195–215



- Lewis T G (2011) Bak's Sand Pile. Agile Press
- Lightfoot G, Wisniewski T P (2014) Information Asymmetry and Power in a Surveillance Society. University of Leicester
- Liu Z, Lang ZYL (2004) Factors Influencing Distance-Education Graduate Students' Use of Information: A User Study. *Journal of Academic Librarianship*, 30(1), 2004.
- Madigan MT et al. (2010) Brock Biology of Microorganisms (13th edition)
- Mei S, Zhang X, Cao M (2011) Power Grid Complexity. Springer; 2011 edt.
- Mitchell J. Feigenbaum (1983) Universal behavior in nonlinear systems, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, Volume 7, Issues 1–3
- NORSOK Z-013 (2001) Risk and emergency preparedness analysis. Standards Norway.
- Paté-Cornell, M.E. (2012) On black swans and perfect storms: risk analysis and management when statistics are not enough. *Risk Analysis* 32 (11), 1823–1833.
- Perrow C (1999) Normal Accidents: living with high-risk technologies. Princeton University Press
- Perrow C (2011) The Next Catastrophe: Reducing Our Vulnerabilities to Natural, Industrial, and Terrorist Disasters. Princeton University Press
- Rosa I D, Horjen H W (2012) Prisboom på de minste leilighetene. *Aftenposten*, 21.08.12, sist hentet: 26.02.14. <<http://www.boligjegeren.no/Aktuelt/tabid/91/post/386/Prisboom-pa-de-minste-leilighetene.aspx>>
- Sammendragsrapport (2014) Sammenendragsrapport sokkel - 2013. *Petroleumstilsynet*, 24.04.14, sist hentet: 28.05.14. <<http://www.ptil.no/sammendragsrapport-sokkel/category1154.html>>
- Smith A (1776) An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations
- Statnett (2011) Strømnettet på vestlandet mot 2025. *Statnett*, sist hentet: 02.06.14. <<http://www.statnett.no/PageFiles/7906/Dokumenter/Dokumenter/Strøm%20på%20Vestlandet%20mot%202025.pdf>>

Store norske leksikon (2014). Risiko. *Store norske leksikon*, 18.02.14, sist hentet: 24.05.14  
<<http://snl.no/risiko>>

Store norske leksikon (2012) System. *Store norske leksikon*, 24.07.12, sist hentet: 24.05.14.  
<<http://snl.no/system>>

Store norske leksikon (2009) Effektivitet. *Store norske leksikon*, 14.02.09, sist hentet:  
11.06.14 <<http://snl.no/effektivitet>>

Storulykkerisiko (2014). Storulykkerisiko. *Petroleumstilsynet*, sist hentet: 28.05.14.  
<<http://www.ptil.no/storulykkerisiko/category839.html>>

Taleb NN (2008) The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable. Kindle ed.  
London: Penguin.

Zipf GK (1949) Human Behavior and the Principle of Least Effort. Cambridge,  
Massachusetts: Addison-Wesley. p. 1.